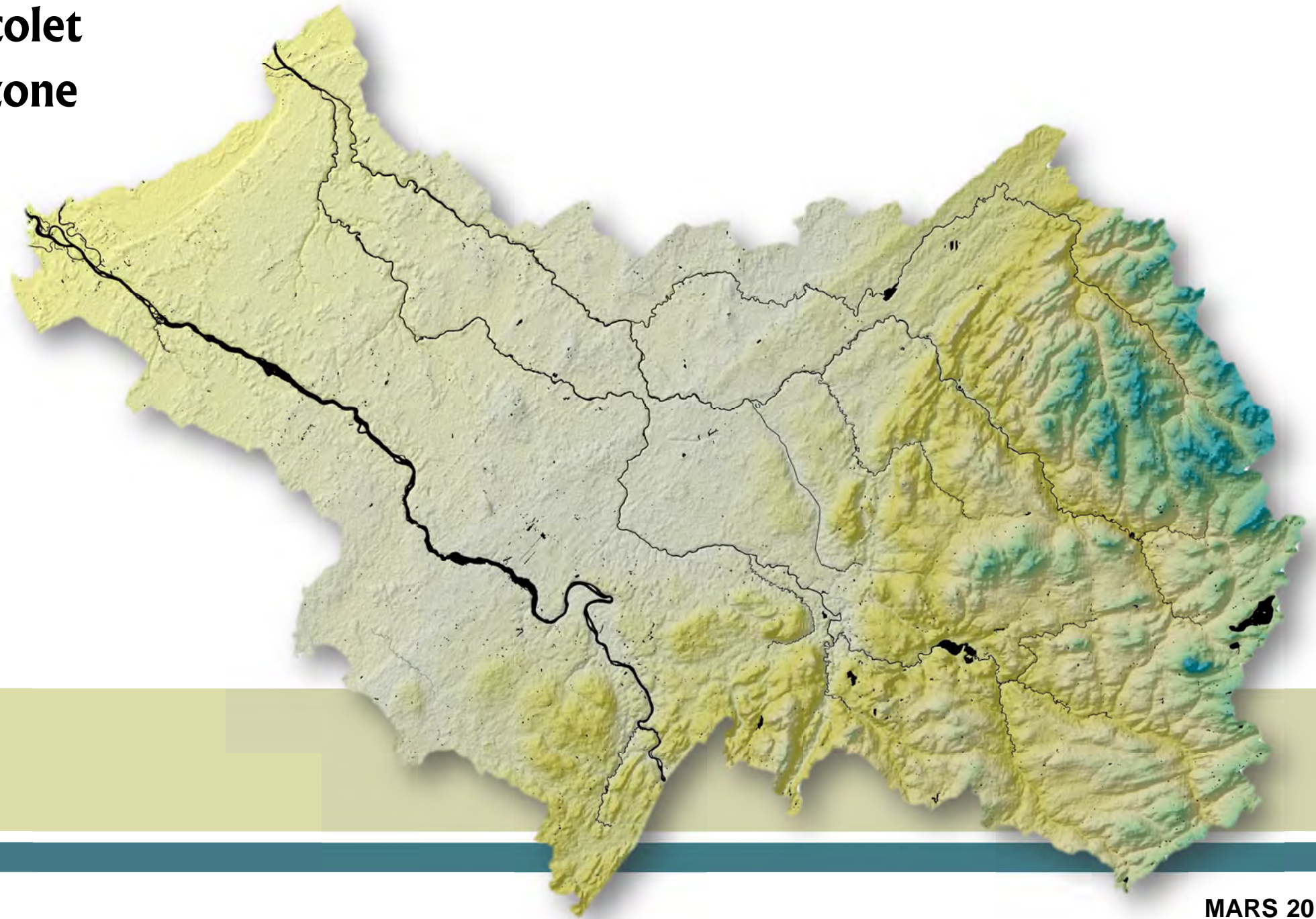


Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François

RAPPORT SYNTHÈSE



Équipe de réalisation

Hydrogéologie

Marie Larocque	Coordonnatrice du projet, hydrogéologue, professeure, UQAM
Sylvain Gagné	Agent de recherche, UQAM
Diogo Barnetche	Agent de recherche, UQAM
Guillaume Meyzonnat	Agent de recherche, UQAM
Marie-Hélène Graveline	Agente de recherche, UQAM
Marie-Audray Ouellet	Agente de recherche, UQAM

Collaborateurs

Florent Barbecot	Hydrogéochimiste, professeur, UQAM
Goze Bertin Béné	Géomaticien, professeur, U. Sherbrooke
Hubert Cabana	Ingénieur, professeur, U. Sherbrooke
Michel Lamothe	Géologue quaternariste, professeur, UQAM
Daniele Pinti	Spécialiste gaz rares, professeur, UQAM
Martin Roy	Géologue quaternariste, professeur, UQAM
Alain Tremblay	Géologue structuraliste, professeur, UQAM

Étudiants MSc et PhD

Olivier Ferland	MSc Sciences de la Terre - UQAM
Floriane Moreira	MSc Sciences de la Terre - UQAM
Marion Saby	MSc Sciences de la Terre - UQAM
Marc-André Bourgault	PhD Sciences de la Terre et de l'atmosphère - UQAM
Pauline Méjean	PhD Sciences de la Terre et de l'atmosphère - UQAM

Stagiaires BSc

Éric Fillion, Maëlle Géry, Luc Richard, Steven Saint-Aubin, Cynthia LeDuc et Marjolaine Roux

Support logistique

Denise Fontaine	Technicienne, UQAM
Frédéric Toupin	Informaticien, UQAM
Michelle Laithier	Dessinatrice, UQAM

Partenaires régionaux au projet

- Organisme de bassin versant COGESAF
- Organisme de bassin versant COPERNIC
- Conférence régionale des élus du Centre-du-Québec
- Conférence régionale des élus de l'Estrie
- Conférence régionale des élus des Appalaches
- MRC d'Acton, des Appalaches, d'Arthabaska, de Bécancour, de Drummond, du Haut Saint-François (Dudswell), de l'Érable, de Nicolet-Yamaska, de Pierre-de-Saurel, des Sources et du Val-Saint-François
- Agence de géomatique du centre du Québec

Référence à citer

Larocque, M., Gagné, S., Barnetche, D., Meyzonnat, G, Graveline, M. H. et Ouellet, M. A. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François - Rapport synthèse. Rapport déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 66 p.



AVANT-PROPOS

Ce rapport est le résultat de trois années de travail de caractérisation des eaux souterraines dans la Zone de gestion intégrée de l'eau Nicolet et sur la partie de la Zone de gestion intégrée de l'eau Saint-François incluse dans la région Centre-du-Québec. Les auteurs remercient tous les partenaires pour leur implication financière et logistique dans le projet. Les auteurs désirent également remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation du projet, les collaborateurs scientifiques, les étudiants de doctorat et de maîtrise, les stagiaires ainsi que le personnel de soutien de l'UQAM. Les travaux de terrain n'auraient pas pu avoir lieu sans la collaboration des habitants de la région, des MRC, des municipalités et des ministères.

Il est important de souligner que toutes les cartes produites dans ce projet sont représentatives des conditions régionales à l'échelle 1/100 000 telles que définies à l'aide des données disponibles. Le portrait régional qui en découle pourrait toutefois s'avérer non-représentatif localement compte tenu de la variabilité de la qualité et de la distribution spatiale et temporelle des données utilisées pour réaliser la carte, malgré les efforts déployés lors de la collecte, de la sélection et de la validation des données. Par conséquent, ces cartes ne peuvent remplacer les études requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude ou à l'intégralité des données et des conditions présentées. Les auteurs et leurs institutions ou organismes d'attache ne donnent aucune garantie quant à la fiabilité, ou quant à l'adaptation à une fin particulière de toute œuvre dérivée des cartes produites dans ce projet et n'assument aucune responsabilité pour les dommages découlant de la création et de l'utilisation de telles œuvres dérivées, ou pour des décisions basées sur l'utilisation de cette carte, des conditions présentées par les cartes ou des données y étant rattachées.



Rivière Nicolet © O. Ferland

RÉSUMÉ

Le Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Nicolet et de la partie basse de la rivière Saint-François financé dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines (PACES) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), avec la contribution en argent et/ou en nature de plusieurs partenaires régionaux, avait pour but d'établir la cartographie hydrogéologique de la Zone de gestion intégrée de l'eau Nicolet et de la partie de la Zone de gestion intégrée de l'eau Saint-François incluse dans la région Centre-du-Québec (superficie totale 4585 km²). Ce projet a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal en collaboration avec les partenaires régionaux suivants: les organismes de bassin versant COGESAF (rivière Saint-François) et COPERNIC (rivière Nicolet), les CRÉ Centre-du-Québec, Estrie et Chaudière-Appalaches, les MRC d'Arthabaska, de Drummond, de l'Érable, du Haut Saint-François (Dudswell), de Nicolet-Yamaska, de Pierre-de-Sorel, des Sources, et de Val-Saint-François, l'Agence de géomatique du Centre-du-Québec (AGTCQ) et l'Université de Sherbrooke.

Les résultats de cette étude montrent que l'aquifère rocheux est dans l'ensemble peu productif, bien que les formations géologiques du Bourret et de Saint-Victor puissent fournir des débits importants. Les principaux aquifères granulaires sont constitués par les dépôts fluvio-glaciaires de l'esker Asbestos-Tingwick et par les dépôts quaternaires anciens du secteur aval de la zone d'étude. L'eau souterraine s'écoule principalement dans le roc fracturé, du secteur des Appalaches à l'amont vers le fleuve Saint-Laurent en aval. Une partie importante de cet écoulement souterrain est intercepté par les nombreuses rivières présentes dans la région. À l'échelle régionale, la recharge de l'aquifère fracturé est estimée à 152 mm/an. Les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie représentent environ 3 % de la recharge de l'aquifère fracturé. Une très faible proportion de la recharge (<1 %) atteint le fleuve Saint-Laurent en aval de la zone d'étude. L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité et peu de dépassements des normes pour l'eau potable ont été identifiés. Les principaux dépassements, pour le baryum, l'arsenic et le fluor, seraient d'origine naturelle. Les problématiques identifiées concernent certains critères esthétiques et notamment les concentrations en manganèse. Les concentrations en nitrates observées ne dépassent pas la norme pour l'eau potable. Elles atteignent toutefois, dans la partie amont de la zone d'étude, des concentrations telles qu'elles peuvent être associées à une source anthropique. L'analyse bactériologique a montré qu'environ 45 % des puits échantillonnés avaient au moins un dépassement de norme. Des pesticides et des produits pharmaceutiques et de soins personnels ont été détectés dans l'eau souterraine. Ces données indiquent que l'eau souterraine est affecté un signal anthropique provenant des eaux usées. Les secteurs où l'aquifère rocheux est le plus vulnérable à une contamination provenant de la surface sont situés dans les Appalaches, aux endroits où les dépôts meubles sont minces et en contact direct avec le roc et où la recharge est élevée. Les données acquises, les cartes produites et les analyses qui en découlent seront directement utiles pour la gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant la rivière Nicolet et de la partie basse du bassin versant de la rivière Saint-François.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	III
RÉSUMÉ	III
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES CARTES	IV
LISTE DES FIGURES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX	IV
1 INTRODUCTION.....	1
Contexte de réalisation du projet	1
Objectifs de l'étude	1
Organisation du rapport synthèse.....	1
2 PRÉSENTATION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE	2
Localisation	2
Milieu naturel	2
Topographie	2
Pente du sol.....	2
Hydrographie et limites des bassins versants.....	2
Couverture végétale	8
Milieux humides	11
Pédologie.....	14
Réseau de surveillance et programme de suivi	14
Population, centres urbains et activités	18
Occupation du sol.....	18
Affectation du territoire	18
3 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX.....	21
Géologie du socle rocheux	21
Géologie du Quaternaire	23
Conditions de confinement.....	31
Contextes hydrogéologiques	33
4 CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES.....	35
Propriétés hydrauliques.....	35
Piézométrie et écoulement.....	35
Recharge et bilan hydrique	38
Zones de recharge et de résurgence	39
Vulnérabilité des aquifères.....	41
Géochimie de l'eau souterraine.....	43
5 RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE.....	45
Usage de la ressource.....	45
Qualité de la ressource en eau souterraine.....	50
Densité des activités anthropiques.....	54
6 RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS.....	57
GLOSSAIRE	60
RÉFÉRENCES	61

LISTE DES CARTES

CARTE 1 ROUTES, LIMITES MUNICIPALES ET TOPONYMIE.....	3
CARTE 2 TOPOGRAPHIE	4
CARTE 3 PENTE DU SOL	5
CARTE 4 HYDROGRAPHIE ET LIMITES DES BASSINS VERSANTS	6
CARTE 5 COUVERTURE VÉGÉTALE – FORÊT	9
CARTE 6 COUVERTURE VÉGÉTALE - AGRICULTURE.....	10
CARTE 7 MILIEUX HUMIDES.....	12
CARTE 8 PÉDOLOGIE	15
CARTE 9 STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES, HYDROMÉTRIQUES ET DE SUIVI DE LA NAPPE	16
CARTE 10 OCCUPATION DU SOL	19
CARTE 11 AFFECTATION DU TERRITOIRE.....	20
CARTE 12 GÉOLOGIE DU ROC.....	22
CARTE 13 GÉOLOGIE DU QUATERNAIRE.....	24
CARTE 14 ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS MEUBLES	25
CARTE 15 TOPOGRAPHIE DU ROC	26
CARTE 16 INDICE DE CONFINEMENT	32
CARTE 17 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES.....	34
CARTE 18 PIÉZOMÉTRIE RÉGIONALE	36
CARTE 19 ZONES DE RECHARGE ET DE RÉSURGENCE	40
CARTE 20 VULNÉRABILITÉ DE L'AQUIFÈRE AU ROC.....	42
CARTE 21 TYPES D'EAU DE L'AQUIFÈRE AU ROC	44
CARTE 22 APPROVISIONNEMENTS MUNICIPAUX	46
CARTE 23 CONSOMMATION D'EAU PAR TYPE DE SOURCE	47
CARTE 24 CONSOMMATION D'EAU PAR TYPE D'UTILISATION	48
CARTE 25 QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE - CRITÈRES POUR L'EAU POTABLE.....	51
CARTE 26 QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE - CRITÈRES ESTHÉTIQUES.....	52
CARTE 27 DENSITÉ DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES	55
CARTE 28 DENSITÉ DES ACTIVITÉS AGRICOLES	56

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 POURCENTAGE DES DIFFÉRENTS TYPES DE PEUPELEMENTS FORESTIERS	8
FIGURE 2 POURCENTAGE DES DIFFÉRENTS TYPES DE CULTURES.....	8
FIGURE 3 POURCENTAGE DES DIFFÉRENTS TYPES DE MILIEUX HUMIDES	11
FIGURE 4 POURCENTAGES DE DIFFÉRENTS TYPES D'OCCUPATION DU SOL.....	18
FIGURE 5 POURCENTAGE DES DIFFÉRENTES AFFECTATIONS DU TERRITOIRE.....	18
FIGURE 6 COUPE STRATIGRAPHIQUE DE LA SUCCESSION QUATERNAIRE DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT (TIRÉ DE LAMOTHE ET SAINT-JACQUES, 2014).....	23
FIGURE 7 LOCALISATION DES COUPES HYDROSTRATIGRAPHIQUES	28
FIGURE 8 COUPE HYDROSTRATIGRAPHIQUE A.....	29
FIGURE 9 COUPE STRATIGRAPHIQUE B	30
FIGURE 10 COUPE STRATIGRAPHIQUE C	30
FIGURE 11 COUPE STRATIGRAPHIQUE D.....	30
FIGURE 12 SCHÉMA HYDROGÉOLOGIQUE CONCEPTUEL (MODIFIÉ DE ANCTIL ET AL., 2005)	31
FIGURE 13 BILAN HYDRIQUE ANNUEL MOYEN DE LA ZONE D'ÉTUDE	38
FIGURE 14 ÉVOLUTION DES FLUX MOYENS DU BILAN HYDRIQUE	38
FIGURE 15 POURCENTAGE DE L'UTILISATION DE L'EAU SELON LE TYPE	45

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 DÉTAILS DES DIFFÉRENTES STATIONS HYDROMÉTRIQUES.....	14
TABLEAU 2 DÉTAILS DES DIFFÉRENTES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES.....	14
TABLEAU 3 DONNÉES ACQUISES SUR LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE	35
TABLEAU 4 UTILISATION DE L'EAU PAR MRC SUR LA ZONE D'ÉTUDE	45
TABLEAU 5 SOMMAIRE DES DÉPASSEMENTS DE NORME*,**	50
TABLEAU 6 SOMMAIRE DES DÉPASSEMENTS ESTHÉTIQUES*,**	50
TABLEAU 7 DÉTAILS DES PUIITS D'OBSERVATION PIÉZOMÉTRIQUE	59

1 INTRODUCTION

Contexte de réalisation du projet

Le *Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François* financé dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines (PACES) du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et par un ensemble de partenaires régionaux avait pour but d'établir la cartographie hydrogéologique pour la zone de gestion intégrée des ressources en eau (ZGIE) de la rivière Nicolet et de la partie basse de la ZGIE de la rivière Saint-François (ci-après nommé le projet PACES-Nicolet-Bas Saint-François). Ce projet a été réalisé par l'Université du Québec à Montréal (UQAM), qui en a été le maître d'œuvre, et par un ensemble de partenaires régionaux.

Objectifs de l'étude

Les objectifs généraux du projet étaient :

1. de dresser un portrait de la ressource en eaux souterraines sur la partie basse du bassin versant de la rivière Bécancour et de huit bassins versants connexes situés près du fleuve Saint-Laurent;
2. de favoriser une saine gestion de la ressource en développant des partenariats entre les acteurs de l'eau et les gestionnaires du territoire dans l'acquisition des connaissances sur la ressource en eaux souterraines.

Plus spécifiquement, le projet visait à :

1. comprendre la nature des formations aquifères;
2. connaître l'origine et les directions d'écoulement de l'eau souterraine;
3. décrire la qualité de l'eau souterraine;
4. estimer la pérennité de la ressource selon le taux de renouvellement naturel et des prélèvements anthropiques;
5. déterminer la vulnérabilité de l'eau souterraine aux activités humaines.

Organisation du rapport synthèse

Ce rapport vise à présenter l'ensemble des livrables du projet PACES-Nicolet-Bas Saint-François de manière vulgarisée. Le territoire à l'étude est d'abord présenté à la section 2, suivi par les contextes hydrogéologiques régionaux à la section 3. Dans la section 4, les conditions hydrogéologiques sont présentées. La ressource en eau souterraine est décrite à la section 5 et la section 6 présente les recommandations et conclusions. Un glossaire de termes utilisés est également disponible à fin de ce rapport. Plusieurs résultats ne sont pas présentés dans ce rapport synthèse. Ils peuvent être consultés dans le rapport scientifique du projet PACES-Nicolet-Bas Saint-François (Larocque et al., 2015).



Baie-du-Febvre © S. Gagné

2 PRÉSENTATION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Localisation

Le territoire visé par l'étude couvre une superficie totale de 4 585 km² et se situe au sud du fleuve Saint-Laurent à la hauteur du lac Saint-Pierre (**Carte 1**). Il couvre toute la zone de gestion intégrée de l'eau Nicolet, incluant les bassins versants des rivières Nicolet (3 408 km²), Colbert (39 km²), Landroche (28 km²), Brielle (20 km²), David-Houle (18 km²), des Frères (11 km²), Lemire (9 km²) et d'autres bassins versants mineurs qui s'écoulent directement au fleuve (102 km²), ainsi que la portion aval du bassin versant de la rivière Saint-François (906 km²) et la baie Saint-François (44 km²). L'inclusion des petits bassins versants connexes est naturelle puisqu'elle assure la continuité hydraulique des écoulements souterrains de l'amont vers l'aval.

La zone d'étude touche le territoire des MRC d'Arthabaska, de Drummond, de Nicolet-Yamaska, de L'Érable, de Bécancour, des Appalaches du Val-Saint-François, du Haut-Saint-François, des Sources, d'Acton et de Pierre-de-Saurel. La population totale sur la zone d'étude est estimée à 192 000 habitants. Les MRC de Bécancour, de Pierre-de-Saurel, et des Sources ne contribuent pas financièrement au projet en raison des petites superficies qu'elles touchent dans le territoire visé et de la petite population qui habite ces zones. La zone d'étude couvre une partie de la région du Centre-du-Québec et de l'Estrie ainsi que de petites superficies des régions de Chaudière-Appalaches et de la Montérégie.

La zone d'étude est répartie sur les feuillets 21E12, 21E13, 21L4, 31I01, 31I02, 31I07, 31H09, 31H15 et 31H16. La zone d'étude est parcourue par les autoroutes Jean-Lesage (20), de l'Énergie (55), l'autoroute 955 et par plusieurs routes nationales (116, 132, 139, 143, 161) et régionales (226, 249, 255, 263). Le territoire d'étude touche en totalité ou en partie à 84 municipalités : 21 dans la MRC de Nicolet-Yamaska, 20 dans la MRC d'Arthabaska, 16 dans la MRC de Drummond, sept dans la MRC des Sources, cinq dans la MRC du Val-Saint-François, quatre dans la MRC de l'Érable, trois dans la MRC des Appalaches, trois dans la MRC de Pierre-De-Saurel, deux dans la MRC de Acton, deux dans la MRC du Haut-Saint-François et une dans la MRC de Bécancour (**Carte 1** Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Les principales villes sont Drummondville, Victoriaville, Nicolet, Asbestos et Warwick.

Milieu naturel

Topographie

La représentation de la topographie a été rendue possible avec le modèle numérique altimétrique (MNA) fourni par la Direction du patrimoine écologique et des parcs (DPEP) (**Carte 2**). Le MNA est une représentation 3D de la surface du terrain, créée à partir des données d'altitude du terrain qui ne prennent pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les arbres et les infrastructures urbaines (bâtiments, ponts, etc.). La zone à l'étude est marquée par une topographie plane sur sa partie nord-ouest entre le fleuve Saint-Laurent et le piémont des Appalaches. L'altitude varie ainsi de quelques mètres vis-à-vis du fleuve à environ 130 m d'altitude dans le piémont des Appalaches (Victoriaville, Warwick et Kingsey Falls) sur une distance de près de 60 km. Dans la partie sud-est de la zone d'étude qui est située dans le piémont et les Appalaches, la topographie devient irrégulière et l'altitude passe de 140 m à Warwick à 559 m vers Saint-Fortunat sur une distance de 25 km.

Pente du sol

La pente du sol (**Carte 3**) est obtenue par un traitement numérique du MNA. La pente du sol marque les changements brusques ou progressifs de la topographie. Elle est exprimée en degrés d'inclinaison de la surface topographique mesurée par rapport à l'horizontale. Sur la zone d'étude, la pente varie de 0 à 80 ° et est en moyenne de 2,3 °. La pente est faible dans toute la portion aval de la zone d'étude. Dans cette section du territoire, les pentes les plus élevées se situent aux endroits où l'encaissement des rivières dans les dépôts meubles est la plus prononcée. Mis à part ces secteurs, les pentes de la portion aval du territoire sont de moins de 5 °. La portion amont présente une plus grande diversité de pentes, représentant un relief plus accidenté.

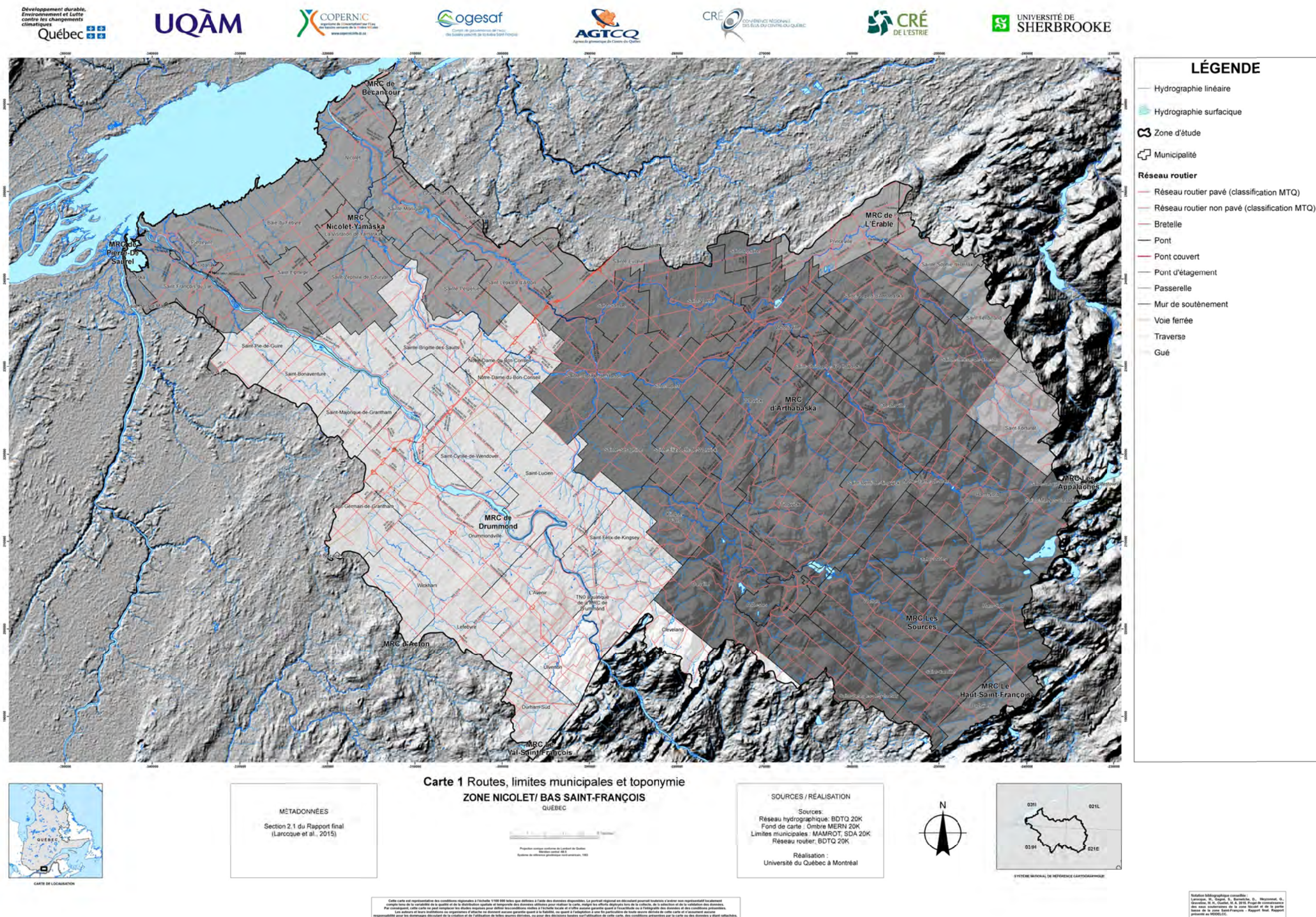
Hydrographie et limites des bassins versants

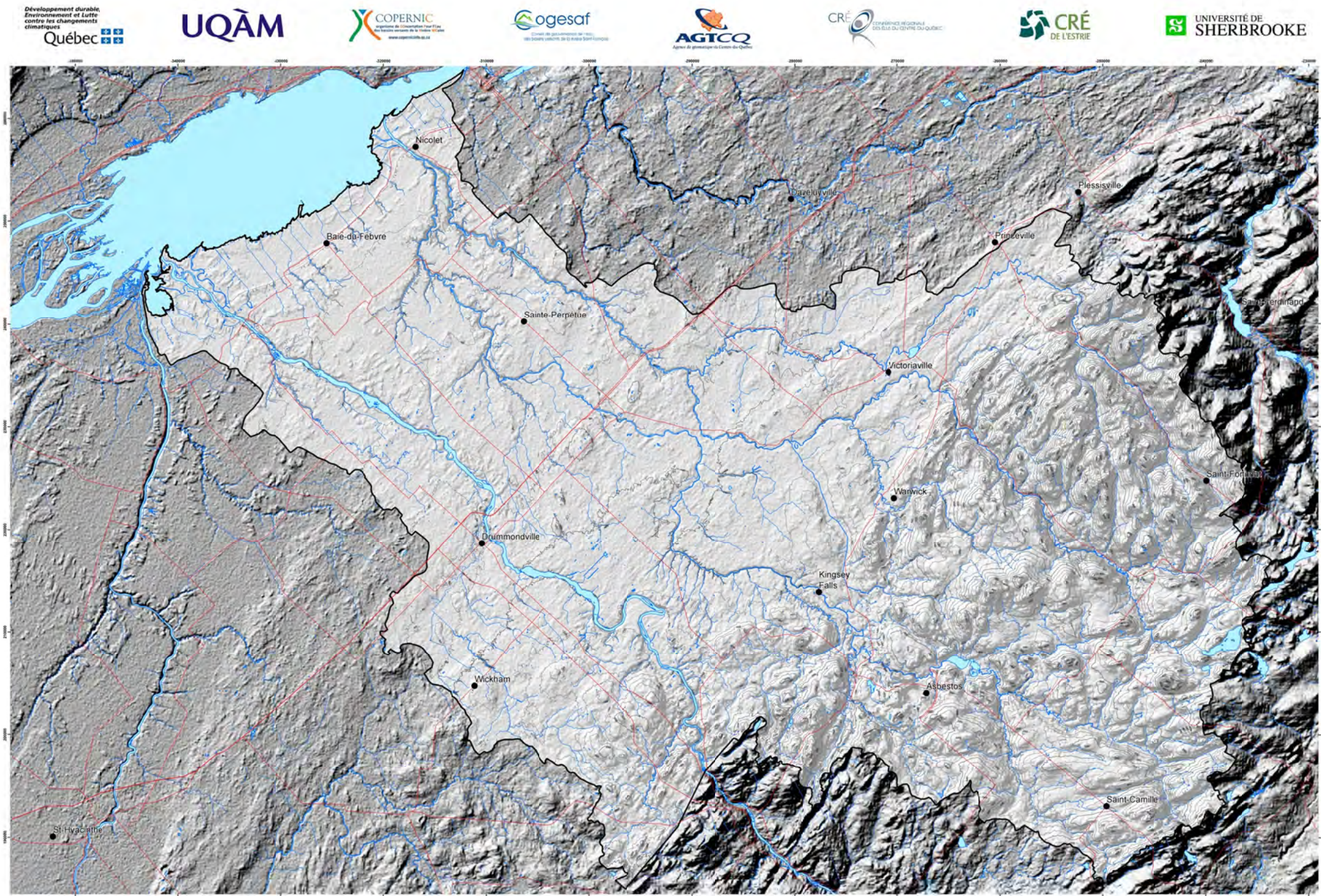
Appliqué aux eaux de surface, un bassin versant désigne un territoire délimité par les lignes de partage des eaux sur lequel toutes les eaux s'écoulent vers un même point appelé exutoire. Les bassins et sous-bassins de la zone d'étude sont illustrés à la **Carte 4**.

La partie aval de la zone d'étude adjacente au fleuve Saint-Laurent (285 km²) est caractérisée par la présence de 18 petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 40 km², et qui ont des exutoires directs au fleuve. Le bassin de la rivière Nicolet occupe 74 % de la zone d'étude (3 404 km²) et s'étend du fleuve jusqu'aux Appalaches où la rivière Nicolet prend sa source, dans la bande de crêtes situées entre Saint-Camille et Saint-Fortunat. La rivière Nicolet Sud-Ouest est le principal affluent de la rivière Nicolet et représente 50 % (1 685 km²) de la superficie du bassin de la rivière Nicolet. Les autres bassins versants de la rivière Nicolet sont ceux des rivières Bulstrode (522 km²), Des Pins (180 km²) et Des Rosiers (141 km²). Les principaux affluents de la rivière Nicolet Sud-Ouest sont les rivières des Saults (150 km²), Landry (123 km²) et Francoeur (122 km²). La partie basse du bassin versant de la rivière Saint-François représente 20 % de la superficie de la présente étude (907 km²). Les principaux affluents de la rivière Saint-François sont les rivières Saint-Germain (284 km²) et aux Vaches (117 km²).



Rivière Nicolet © O. Ferland





LÉGENDE

- Ville
- Réseau routier
- Hydrographie linéaire
- Hydrographie surfacique
- ⊞ Zone d'étude

Courbes de niveau [équidistance 20 m]

- Courbe de niveau intermédiaire
- Courbe de niveau maitresse



CARTE DE LOCALISATION

MÉTADONNÉES
Section 2.2.1 du Rapport final
(Laroque et al., 2015)

Carte 2 Topographie
ZONE NICOLET/ BAS SAINT-FRANÇOIS
QUÉBEC

Projet de loi 100
Système de coordonnées géographiques
NAD 83
Datum : 1983
Unité : Mètre

SOURCES / RÉALISATION
Sources :
Réseau hydrographique : BDTC 20K
Réseau routier : BNDT 250K
Fond de carte : Ombre MERN 20K
Topographie : BDTC 20K
Réalisation :
Université du Québec à Montréal



SYSTÈME NATIONAL DE RÉFÉRENCE CARTOGRAPHIQUE

Cette carte est représentative des conditions d'usage à l'échelle 1:500 000. Elle ne doit pas être utilisée pour des fins autres que celles pour lesquelles elle a été conçue. Les données sont fournies à titre d'information et ne constituent pas une garantie. Les utilisateurs de cette carte sont responsables de la vérification de la validité des données et de la précision des informations. Les données sont fournies à titre d'information et ne constituent pas une garantie. Les utilisateurs de cette carte sont responsables de la vérification de la validité des données et de la précision des informations.



© M. Saby

Couverture végétale

Deux couches d'informations complémentaires ont été utilisées pour décrire la couverture végétale sur la zone d'étude. La première, une carte de couverture forestière (**Carte 5**), a été créée à partir des cartes du 4e programme d'inventaire du Système d'information écoforestière (SIEF) du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). Ces données ont été fournies par l'Agence de géomatique du Centre-du-Québec (AGTCQ). Selon les données du SIEF, la forêt couvre une superficie de 2171 km² ce qui représente 47 % de la zone d'étude. Ce pourcentage est différent de celui défini à partir de la carte d'utilisation du sol en raison des différentes méthodes utilisées. La carte d'utilisation du sol provient d'un traitement d'images Landsat et pourrait être moins précise que la carte du SIEF concernant la couverture végétale. La forêt recouvre davantage la partie amont et le secteur sud-ouest de la zone d'étude. Les feuillus représentent 41 % du couvert forestier, alors que les résineux occupent 20 % du territoire forestier. Un couvert forestier mélangé, où la proportion de résineux se situe entre 26 et 75 %, constitue le 39 % résiduel (**Figure 1**). Ces différents types de couverts forestiers sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude.

La seconde carte présente les grandes cultures agricoles (**Carte 6**) et a été générée à partir de la Base de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière agricole du Québec (BDCA, 2011). Ces classes de culture sont compilées à partir des déclarations faites par les producteurs agricoles à la Financière agricole du Québec et environ 10 % de ces déclarations sont validées sur le terrain. L'agriculture couvre une superficie de 1568 km², ce qui représente 34 % de la zone d'étude. Les principaux types de cultures rencontrés sont les céréales (54 %) et le foin (22 %). Les cultures mixtes (1 %), les cultures maraîchères (1 %), les cultures de canneberges (0,3 %) et les cultures de petits fruits (0,03 %) occupent une petite portion des zones cultivées (**Figure 2**). Les parcelles agricoles se retrouvent principalement dans la zone aval, ainsi que dans la partie centrale au nord-ouest de l'axe traversant les villes de Victoriaville, Warwick et Kingsey Falls. Les grandes cultures céréalières se retrouvent vers l'aval du bassin, tandis que les parcelles de foin deviennent majoritaires dès que l'on atteint les Appalaches. Les cultures maraîchères et de petits fruits se situent en aval de la zone d'étude alors que les cannebergières se retrouvent principalement dans sa partie centrale, sur les sédiments d'origine éolienne et les alluvions.

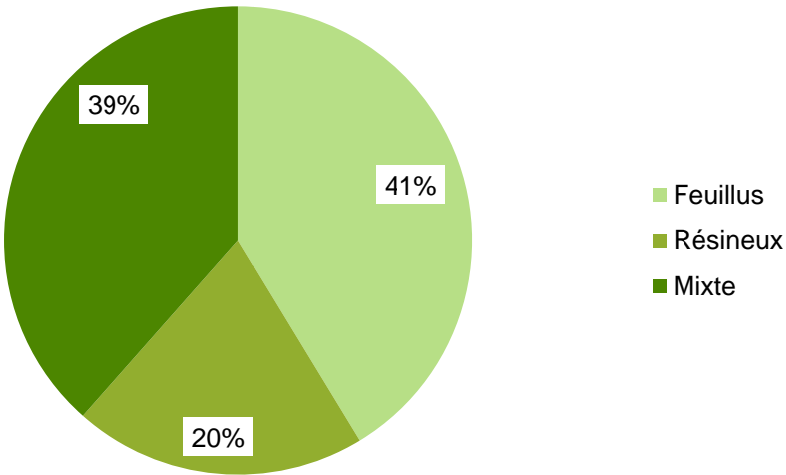


Figure 1 Pourcentage des différents types de peuplements forestiers

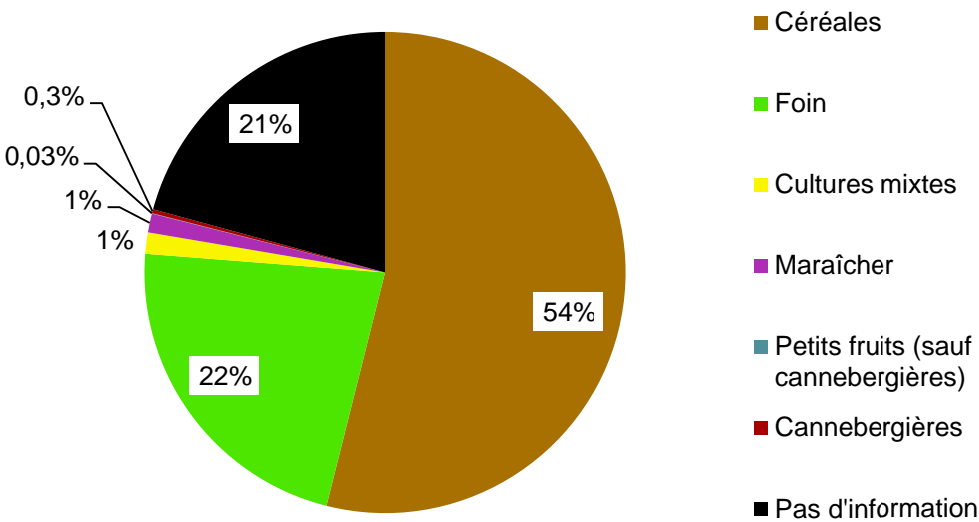
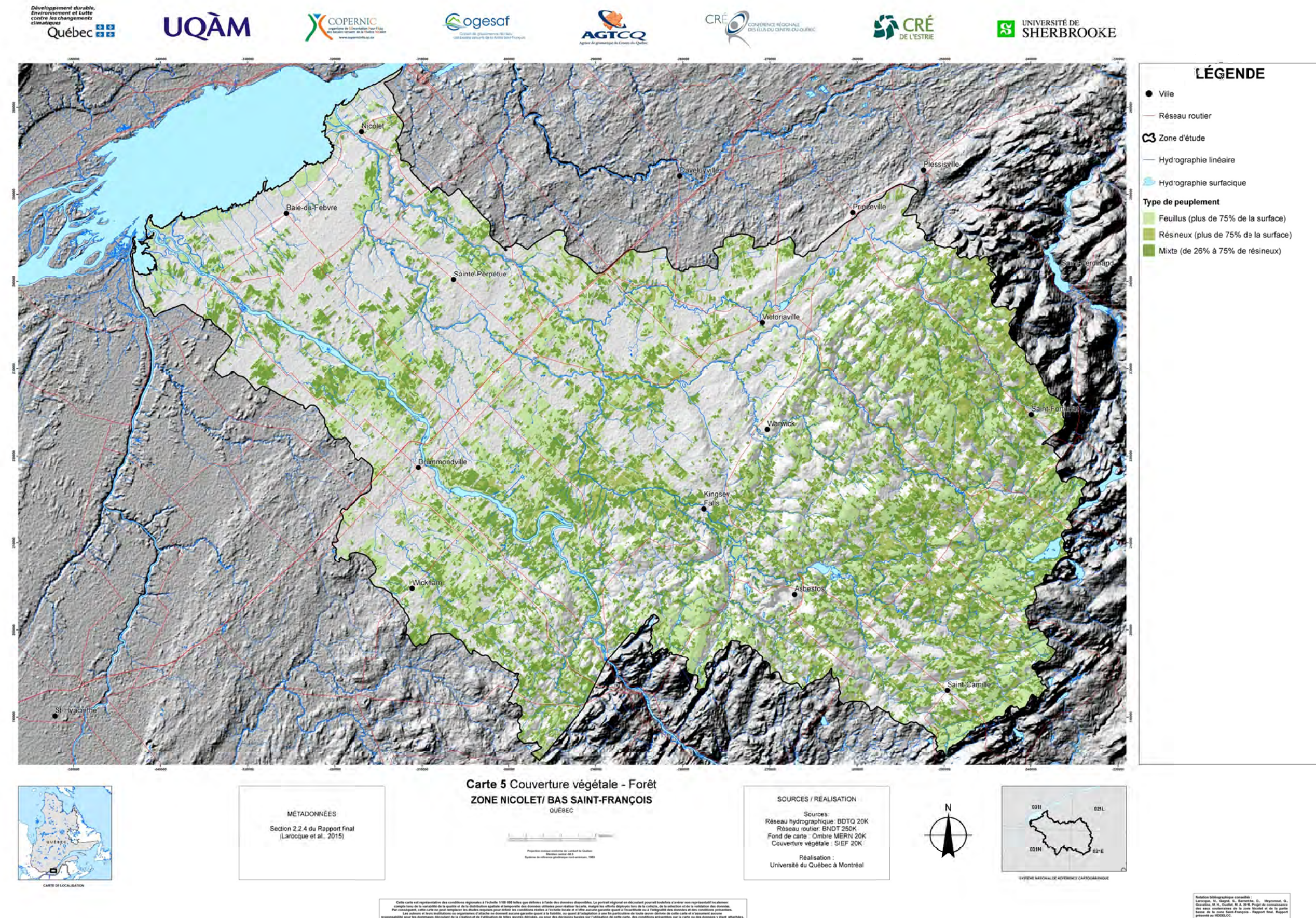


Figure 2 Pourcentage des différents types de cultures



Milieux humides

Les milieux humides correspondent à l'ensemble des sites saturés d'eau ou inondés pendant une période suffisamment longue pour influencer sur le développement d'un type de végétation et/ou de substrat particuliers. Des marécages riverains bordant le fleuve Saint-Laurent aux tourbières boisées des vallées appalachiennes, les milieux humides occupent une superficie de 278 km² soit l'équivalent de 6 % de la superficie totale de la zone d'étude (**Carte 7**). L'inventaire le plus récent des milieux humides est le fruit d'un travail conjoint entre Canards Illimités Canada (CIC) et le MDDELCC et a été complété au printemps 2012 (CIC et MDELCC, 2012). Cet inventaire a été réalisé à partir d'un travail de photo-interprétation d'imagerie aérienne numérique (2006 et 2010) et d'une campagne de validation de terrain mise en oeuvre au printemps 2010.

L'inventaire catégorise les milieux humides en cinq grandes classes conformément au système de classification des terres humides du Canada (GTNTH, 1997). Ces classes sont les eaux peu profondes, les marais, les marécages, les tourbières ombrotrophes (bogs) et les tourbières minérotrophes (fens) (**Figure 3**). Puisqu'elles étaient suffisamment distinctes pour être identifiées par photo-interprétation, deux sous-classes, les prairies humides (sous-classe de marais) et les tourbières boisées (sous-classe des tourbières minérotrophes), ont été ajoutées à l'inventaire (Beaulieu et al., 2012).

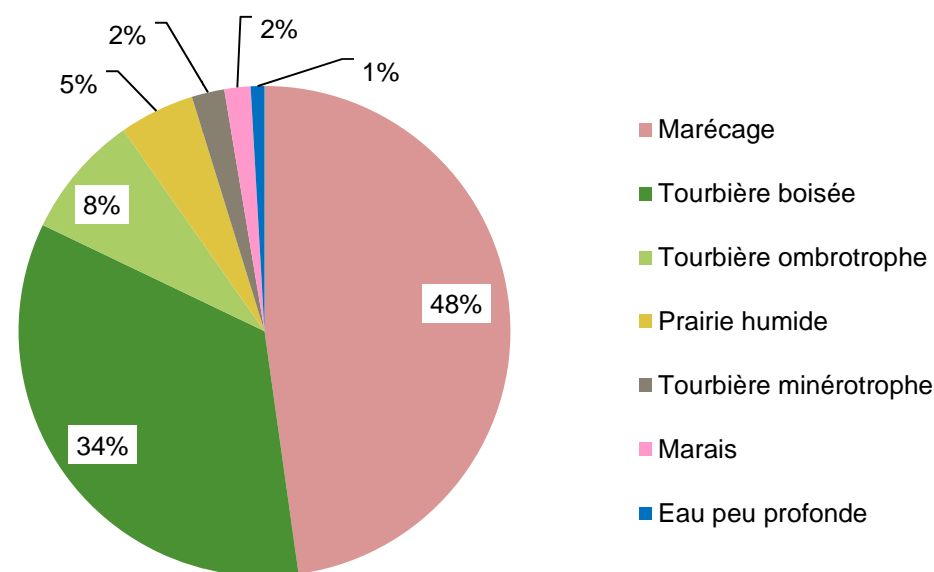


Figure 3 Pourcentage des différents types de milieux humides

Les **marécages** composent 48 % des milieux humides de la zone d'étude. On les retrouve principalement en bordure du fleuve Saint-Laurent et sur la partie centrale du territoire.

Les **tourbières boisées** représentent en superficie 35 % des milieux humides de la zone d'étude. Elles se retrouvent principalement sur la partie centrale du territoire.

Les **tourbières ombrotrophes** (bogs) représentent 8 % de l'ensemble des milieux humides. La répartition des tourbières ombrotrophes sur la zone d'étude est similaire à celle des tourbières boisées, soit du piémont appalachien jusqu'à la municipalité de Saint-Majorique-de-Grantham.

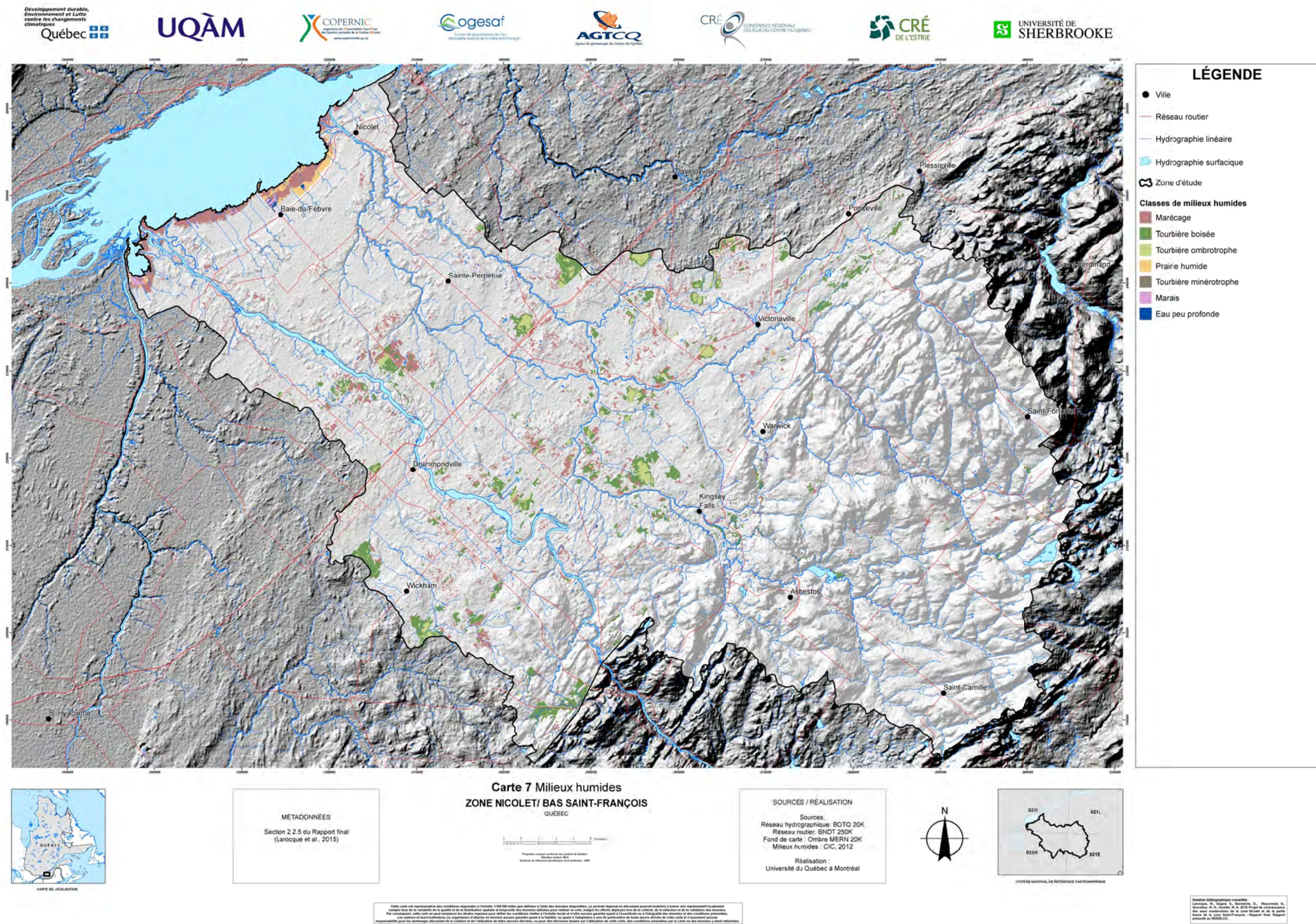
Les **tourbières minérotrophes** (fens) représentent 2 % des milieux humides et sont situées au sud de Kingsey Falls et à l'extrémité sud-ouest de la limite du bassin de la rivière Saint-François.

En bordure du fleuve Saint-Laurent, on retrouve des étendues marécageuses continues ainsi que plus spécifiquement par rapport au reste du bassin, la présence de **marais** (2 %) et de **prairies humides** (5 %).

1 % des milieux humides sont classifiés comme **eau peu profonde** et ils sont répartis principalement le long de la rivière Saint-François.



Tourbière dans le secteur de Sainte-Séraphine © M. Saby





Piezomètre dans le secteur de Saint-Valère© O. Ferland

Pédologie

La pédologie concerne l'étude et la caractérisation des matériaux non consolidés présents à la surface du sol, sur une épaisseur allant de 10 à 150 cm. Les données pédologiques présentées à la **Carte 8** ont été obtenues de l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA). La représentation choisie tient compte de deux informations issues des données de l'IRDA : la texture du sol dominant (argileux, loameux, sableux, graveleux, issus de dépôts de till, organiques et divers) et son drainage (très rapidement drainé à très mal drainé).

Pour les parties basse et centrale de la zone d'étude, le sable est l'unité pédologique qui domine et qui s'échelonne selon des sols très rapidement drainés à mal drainés. À l'intérieur de cette dominance du sable, on retrouve des sols argileux sur une étendue relativement grande et continue sur le bassin versant de la rivière Saint-Zéphirin, et d'une manière générale sur une zone triangulaire au sud de Nicolet et de Baie-du-Febvre. Les étendues argileuses sont morcelées, de faibles étendues sur les Basses-Terres et généralement mal drainées. On retrouve sur la partie centrale, autour de l'axe Drummondville-Princeville, des zones de dépôts organiques qui correspondent aux zones de tourbières identifiées dans la section milieux humides. Hormis les zones sableuses et argileuses, on retrouve également des parcelles discontinues de till couvrant la partie basse du territoire, dont les superficies augmentent graduellement en s'approchant du piémont appalachien. La portion du piémont et des Appalaches est dominée par des dépôts issus de tills qui s'échelonnent de sols rapidement drainés à mal drainés. On trouve spécifiquement pour le piémont et les fonds de vallées appalachiennes des dépôts graveleux de faible étendue, comme pour les fonds de vallées à l'est de Kingsey Falls, la zone de piémont au nord-est et au sud-ouest de Victoriaville, ainsi qu'au nord-est d'Asbestos.



© S. Gagné

Réseau de surveillance et programme de suivi

La zone d'étude possède plusieurs stations hydrométriques et météorologiques, mais aucune station piézométrique (**Carte 9**). L'ensemble de ces stations procure des données très importantes pour la gestion du territoire.

Certains puits installés dans le cadre du Projet seront intégrés au Réseaux québécois de suivis des eaux souterraines (MDDELCC, 2015) et seront identifiés dans les prochains mois. Les détails des puits d'observation installés durant le projet sont montrés à la page 60 de ce document.

Les données hydrométriques ont été fournies par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). Sur les 11 stations illustrées, seulement quatre sont encore actives, les sept autres ont été fermées à différentes dates (**Tableau 1**). Le débit total le plus important enregistré sur la zone d'étude (762 m³/s) a été mesuré à la station 030103, située vis-à-vis le pont de l'autoroute Jean-Lesage sur la rivière Nicolet. Cette station est la plus en aval sur la rivière Nicolet. Toutes les rivières instrumentées ont un écoulement en période d'étiage.

Les données météorologiques ont été obtenues auprès de Climat Québec. Ces données sont disponibles à 25 stations météorologiques sur la zone d'étude. Parmi celles-ci, 13 sont actives et les 12 autres stations ont été fermées à différentes dates (**Tableau 2**). Vingt-deux stations font partie du réseau provincial et trois font partie du réseau d'Environnement Canada. La température moyenne annuelle sur la zone d'étude varie de 3,4°C (Saint-Fortunat) à 6,3°C (Drummondville). Dans la partie aval de la zone d'étude, les précipitations annuelles moyennes totalisent entre 900 et 1000 mm et vers l'amont, plus de 1100 mm. Une augmentation générale des précipitations est observée avec l'altitude des stations, ce qui s'explique par les phénomènes orographiques qui favorisent les précipitations.

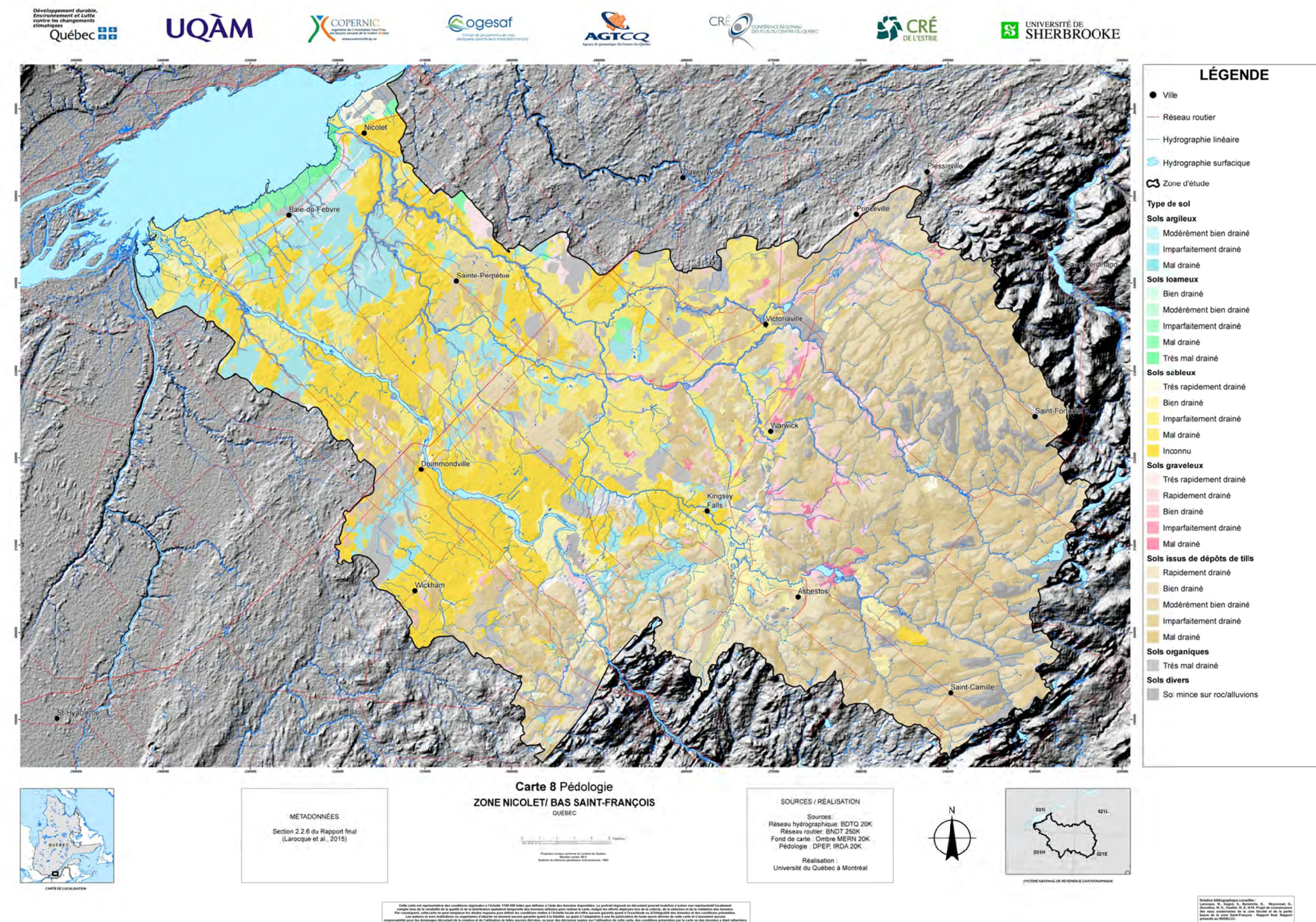
Tableau 1 Détails des différentes stations hydrométriques

Cours d'eau	Numéro	Période	Débits moyens (m³/s)	Débits maximums (m³/s)	Débits minimums (m³/s)
Nicolet	030103*	1966-2010	1545,9	33,6	762,0
Nicolet Sud-Ouest	030101*	1929-2010	546,9	11,8	351,0
Bulstrode	030104	1966-1976	363,5	9,5	180,0
Bulstrode	030106*	1975-2012	343,0	8,2	263,0
Bulstrode	030110	1972-1986	250,2	7,5	240,0
Saint-Germain	030262*	1972-2010	262,6	4,8	112,0
Saint-Germain	030291	1985-1996	244,4	3,8	60,8
Des Saults	030107	1972-1979	149,1	2,1	47,3
Danville	030109	1972-1978	66,8	1,4	28,9
A Pat	030108	1972-1978	63,3	1,3	32,8
Saint Zéphirin	030119	n.d.	38,7	n.d.	n.d.

* station active

Tableau 2 Détails des différentes stations météorologiques

Nom	Numéro	Altitude (m)	Période	Températures moyennes moyennes (°C)	Précipitations moyennes annuelles (mm)
Arthabaska	7020305	222	1969-2014	5.3	1135
Danville	7021954	133	1871-2014	5.6	1062
Drummondville	7022160	76	1913-2014	6.3	1107
L'Avenir	70242F0	173	2007-2014	n.d.	n.d.
Nicolet	7025440	30	1913-2014	5.3	918
Nicolet	7025442	8	1994-2014	6.0	929
Pierreville	7026043	20	1980-2014	5.8	986
Saint-Camille-de-Wolfe	702FR30	279	1975-2014	4.4	1178
Sainte-Clotilde-2	7027050	92	2007-2014	n.d.	n.d.
Saint-Germain-de-Grantham	7027470	85	2008-2014	6.2	912
Tingwick	7028502	262	1988-2014	n.d.	n.d.
Zéphirin	7029230	51	1989-2014	n.d.	n.d.





Vallée de la rivière Bulstrode © D. Barnetche

Population, centres urbains et activités

Occupation du sol

L'information relative à l'occupation du sol provient de la DPEP et a été produite à partir d'images Landsat7 de la NASA (**Carte 10**). La couche d'information a été généralisée en limitant à cinq le nombre de classes : zones agricoles, zones forestières, zones humides, zones urbaines et zones minières.

La majorité du territoire est occupée à des fins agricoles (48 %) et forestières (45 %) (**Figure 4**). Les zones agricoles sont situées dans la zone aval, en bordure du fleuve, ainsi que dans la partie centrale au nord-ouest de l'axe traversant les villes de Victoriaville, Warwick et Kingsey Falls. Pour le reste, un morcellement des superficies entre terrains boisés et terrains agricoles est observé avec une tendance à l'augmentation de la proportion des terrains boisés vers les Appalaches et dans une large zone au sud-ouest de Drummondville, ainsi qu'aux endroits où les milieux humides sont présents, ces derniers étant souvent entourés de forêts. Les milieux humides couvrent 4 % du territoire, et sont situés au centre du bassin ainsi qu'en bordure du fleuve Saint-Laurent. L'occupation urbaine du sol (villes et voies de circulations) correspond à 2 % du territoire et est particulièrement marquée pour les villes de Drummondville, de Victoriaville et d'Asbestos. Les zones minières, dont la principale production est l'amiante chrysotile, représentent 0,4 % du territoire et sont principalement situées dans la région d'Asbestos. L'utilisation d'une autre source d'information explique que les pourcentages présentés ici varient légèrement de ceux décrits précédemment pour la forêt, l'agriculture et les milieux humides

Affectation du territoire

La **carte 11** présente la carte de l'affectation du territoire. Les données proviennent du ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). Selon cette information, le territoire est affecté en majeure partie à des vocations agricoles (58 %) et agroforestières (28 %) (**Figure 5**). La vocation résidentielle représente 5 % de la superficie du territoire. Les villes de Drummondville et de Victoriaville sont associées à des affectations urbaines étendues. Cette affectation représente 3 % de la superficie de la zone d'étude. Les zones d'affectation forestière se concentrent à l'extrémité sud-est de la zone appalachienne et représentent 3 % du territoire. Les territoires affectés aux activités récréatives (1 %) sont, quant à eux, principalement situés en amont de la zone d'étude ainsi qu'en bordure du Saint-Laurent. Les secteurs industriels constituent 1 % du territoire et sont concentrés en bordure des pôles urbains d'Asbestos, de Victoriaville et de Drummondville. Les zones de conservation occupent 1 % du territoire, essentiellement sur le bord du lac Saint-Pierre, à l'emplacement de la *Réserve du lac Saint-Pierre* qui a été classée réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO en 2000. Dans de plus faibles proportions, les affectations publiques et commerciales représentent respectivement 0,05 et 0,01 % du territoire.

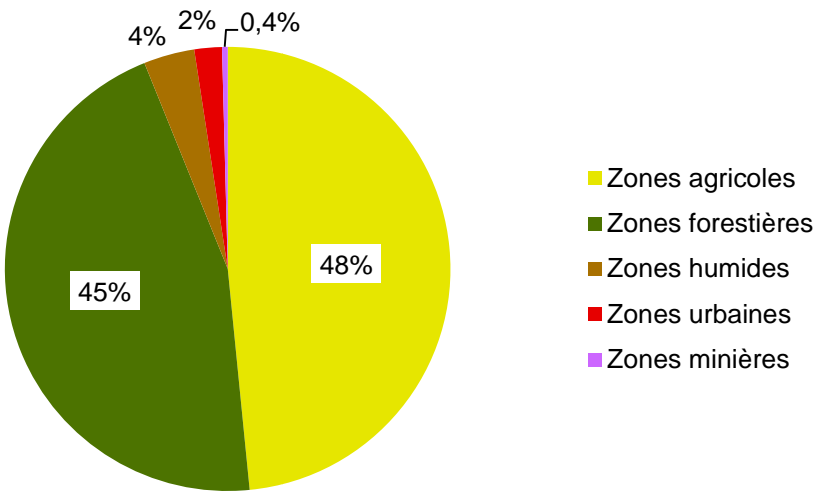


Figure 4 Pourcentages de différents types d'occupation du sol

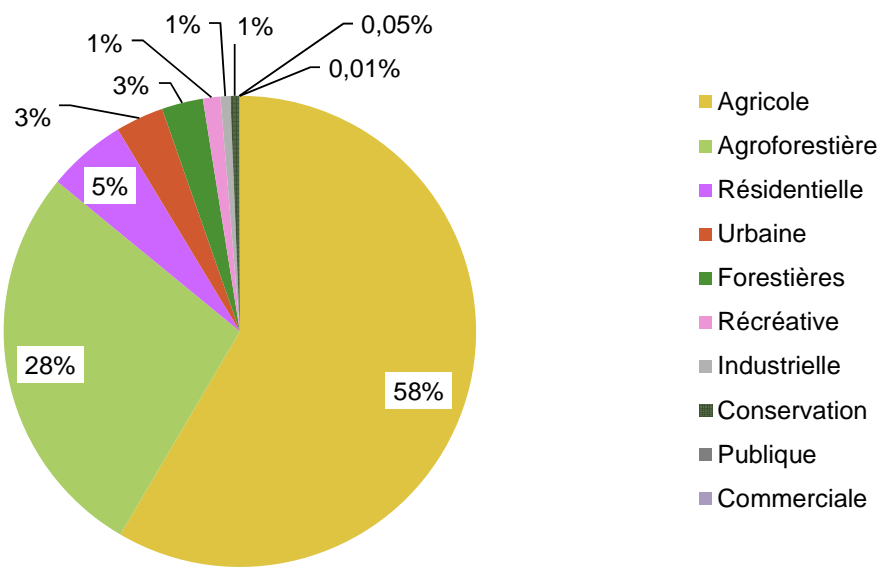
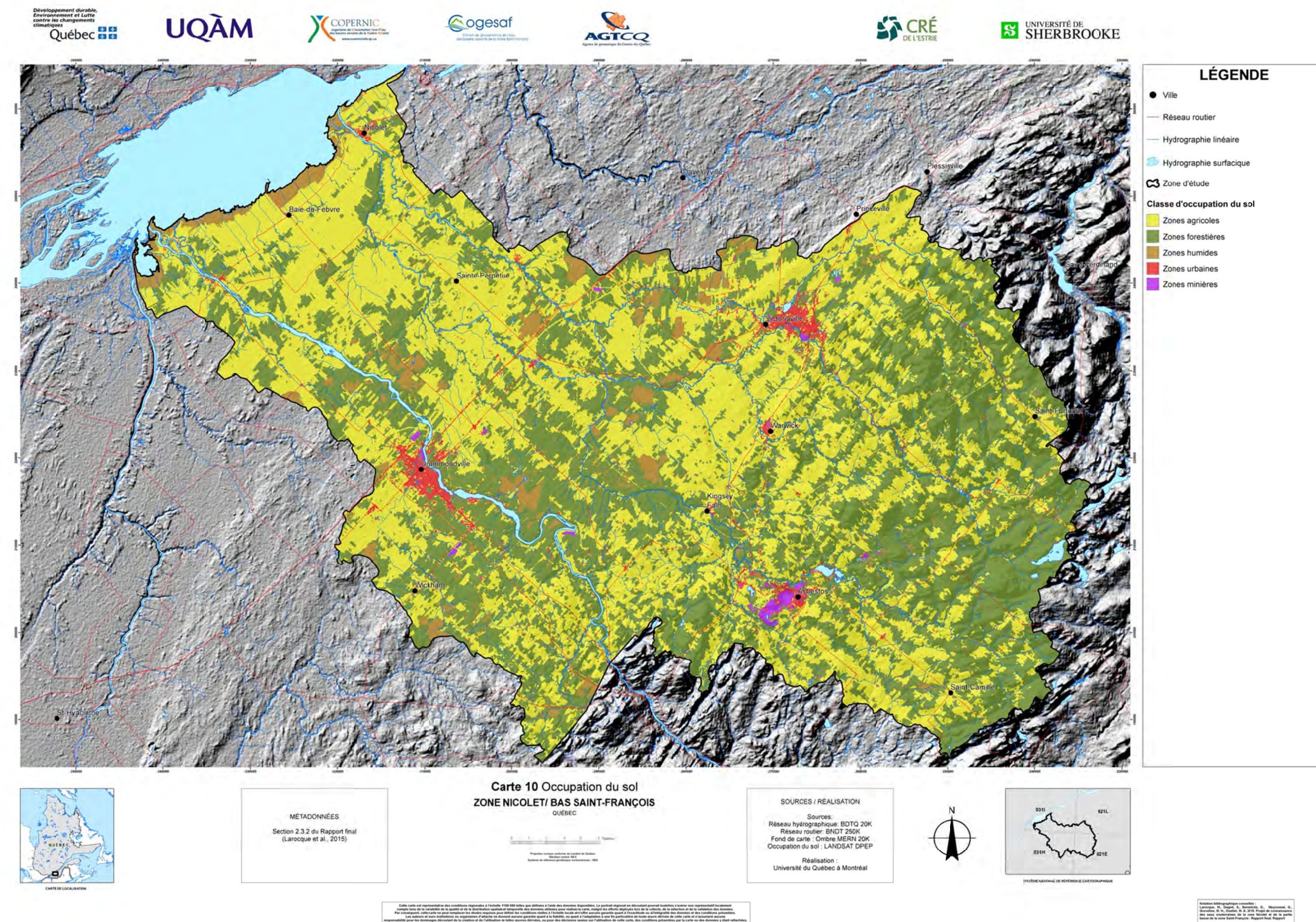


Figure 5 Pourcentage des différentes affectations du territoire



3 CONTEXTES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONAUX

Géologie du socle rocheux

Histoire géologique du socle rocheux

L'histoire géologique de la région commence à la période de l'Archéen, il y a plus de 2,5 milliards d'années. Au tout début du Paléozoïque, le socle précambrien forme un massif au relief modéré qui s'érode progressivement. Une Amérique du Nord bien différente de celle qu'on connaît aujourd'hui, et que les géologues ont appelée « Laurentia », se sépare graduellement des continents voisins à l'est pour laisser place à un nouvel océan appelé « Iapétus ». L'ouverture de cet océan provoque une succession d'invasions et de retraits d'eau de mer dans la région, générant une suite de processus qui vont créer les roches sédimentaires des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les roches du socle précambrien sont ainsi initialement recouvertes par des sédiments grossiers provenant de l'érosion du socle. Ces premières formations sont à leur tour recouvertes par des sédiments fins d'origine marine qui se déposent au fond de l'eau, à une profondeur de plus en plus grande à mesure que l'eau de l'océan submerge la région. Finalement, cette séquence sédimentaire est complétée par la déposition de sédiments fins argileux, qui deviendront des shales et des siltstones, qui constituent les dernières roches sédimentaires de la région. Il y a environ 500 millions d'années, l'océan Iapétus commence à se refermer. La compression latérale des sédiments marins et de la croûte océanique soulève et déforme les roches du fond marin qui deviendront la chaîne des Appalaches.

Stratigraphie, lithologies, structure et fracturation

La géologie de la zone d'étude a été cartographiée par plusieurs auteurs qui ont couvert les parties Basses-Terres du Saint-Laurent et Appalaches. Les descriptions lithologiques décrites ici proviennent des travaux de Globensky (1987) pour les Basses-Terres du Saint-Laurent et de Slivitzky et Saint-Julien (1987) pour la zone appalachienne. L'ensemble de la séquence cambro-ordovicienne est reconnu dans les forages profonds régionaux. En surface, les groupes stratigraphiques d'importance sont les roches sédimentaires du Groupe de Sainte-Rosalie (ardoise et dolomie), celles du Groupe de Lorraine (calcaire et shale de la formation de Pontgravé, puis shale et grès de la Formation de Nicolet), puis celles du Groupe de Queenston (shale rouge et grès

verts). Au-delà de la ligne de Logan, entre les Basses-Terres et le piémont, on retrouve le domaine des nappes externes avec, sur la partie est, les Olistostromes de la rivière Etchemin et de Drummond (schiste à blocs), sur la partie nord, le Groupe de Sillery (schistes) et plus au sud, la Formation de Bulstrode et de Melbourne (ardoise calcareuse). Pour la partie appalachienne dans le domaine des nappes internes, on retrouve au nord le Groupe de Oak Hill comprenant 8 formations de lithologies distinctes (schistes, quartzite, dolomie, phyllade) ainsi que les Schistes de Sutton-Bennett (schiste à chlorite) et sur la partie sud des Appalaches, le Domaine Océanique avec les complexes ophiolitiques, la Formation de Saint-Daniel (Bloc et ardoise) puis la formation de Saint-Victor (schiste, ardoise, grès). La zone d'étude compte ainsi 26 formations géologiques présentes à l'affleurement et dans les premières dizaines de mètres sous la surface. Dans le tableau 14, les formations sont présentées chronologiquement, de la plus récente à la plus ancienne. Mis à part les Formations de Bécancour et de Nicolet qui sont superposées stratigraphiquement au sein du synclinal de Chambly-Fortierville, les unités géologiques présentées dans ce tableau ont une étendue verticale relativement limitée. Les formations les plus jeunes sont situées à l'aval, près du fleuve Saint-Laurent, et les plus anciennes en amont de la zone d'étude (**Carte 12**).

Dans le cadre de cette étude, le système hydrogéologique étudié ne s'étend que sur les premiers 100 m d'épaisseur du socle rocheux. Il n'y a donc pas de variation verticale importante de la lithologie dans le système étudié, cela ayant été confirmé par les forages du roc réalisés durant le projet. L'impact des structures géologiques sur l'écoulement des eaux souterraines est peu connu, mais les roches du Domaine parautochtone proches de la Faille d'Aston (Groupe de Sainte-Rosalie) et celles de certaines nappes (Groupe de Stanbridge notamment) sont fortement déformées et représentent des zones potentiellement fracturées à fort potentiel hydrogéologique.



© S. Gagné

Géologie du Quaternaire

Histoire géologique du Quaternaire

Les glaciers ont commencé à se retirer du Québec il y a environ 12 500 ans. Pendant le retrait des glaciers, les Basses-Terres du Saint-Laurent ont été occupées successivement par une série de lacs proglaciaires et finalement par la Mer de Champlain. Le déplacement lent du glacier et la succession de gel/dégel qui s'effectue à sa base arrachent des matériaux au substrat rocheux et les redéposent sur place ou aux marges du glacier. Ces matériaux sédimentaires produits directement par l'action de rabotage de la glace sur la roche et les dépôts en place sont appelés dépôts glaciaires (i.e. till). Par la suite, les eaux de fonte du glacier redistribuent ces matériaux sur la plaine d'épandage, et façonnent différentes formes de dépôts fluvioglaciaires (par ex. les eskers). Il y a 11 800 ans, le front de glace s'est retiré au nord de ce qui est aujourd'hui la vallée du Saint-Laurent. La dépression proglaciaire se trouvait sous le niveau de la mer, de sorte que les eaux salées marines ont envahi la région, donnant ainsi naissance à la Mer de Champlain, permettant à l'océan Atlantique d'inonder les Basses-Terres sous les élévations d'environ 180 m. Depuis la fonte des glaciers, le terrain s'est relevé et la mer de Champlain s'est progressivement vidée par le fleuve Saint-Laurent.

Couverture de dépôts meubles

La séquence quaternaire qui surmonte le socle rocheux peut atteindre 90 m d'épaisseur dans la partie aval du bassin de la rivière Saint-François et dans les sous-bassins où coulent des tributaires du fleuve Saint-Laurent (**Figure 6**). L'unité de base est représentée par le Till de Bécancour, d'âge préSangamonien. L'unité glaciaire suivante est le Till de Lévrard, qui date du début de la glaciation wisconsinienne. Le Till de Gentilly est le till de surface qui a été déposé lors de la dernière grande avancée glaciaire et il recouvre l'ensemble de la région. Lors des périodes interglaciaires, le retour à des conditions normales de drainage est représenté par les sédiments fluviaux, lacustres et organiques des formations de Lotbinière et de Saint-Pierre, non affleurant. La déglaciation finale a mis en place successivement des sédiments fluvioglaciaires et glaciolacustres. L'épisode de la Mer de Champlain a suivi, et est associé à des dépôts de sables fins et d'argiles marines qui sont venus recouvrir les dépôts laissés par les glaciers. La **carte 13** présente la plus récente cartographie des dépôts quaternaires

Épaisseur des dépôts meubles et topographie du roc

La carte de l'épaisseur des dépôts meubles (**Carte 14**) donne un aperçu du rôle que les dépôts granulaires peuvent jouer dans la dynamique de l'écoulement souterrain et dans la recharge de l'aquifère du roc fracturé. L'axe du synclinal de Chambly-Fortierville est la zone où les épaisseurs sont les plus importantes, plus précisément dans le secteur nord-ouest. À cet endroit, l'épaisseur des dépôts peut atteindre 80 m, l'épaisseur maximale observée sur la zone d'étude. Dans le piémont et les Appalaches, la vallée de la rivière Nicolet du sud-ouest est la seconde zone où l'épaisseur des dépôts meubles peut dépasser 50 m. Les déformations tectoniques de la roche dans ce secteur ont formé des dépressions qui ont été remplies par des sédiments, notamment dans la portion comprise entre Kingsey Falls et Asbestos.

La topographie du roc a été calculée en soustrayant la couche d'épaisseur des dépôts meubles au modèle numérique altimétrique (**Carte 15**). La topographie du roc varie de -75 m à 681 m. De façon générale, le roc suit la même tendance que la topographie de surface, avec une diminution progressive de l'élévation du piémont des Appalaches vers le fleuve Saint-Laurent, à l'exception de certaines zones des vallées des rivières Nicolet et Nicolet du sud-ouest et de la zone formant l'exutoire de la rivière Saint-François. Le réseau hydrographique n'a pas creusé la roche en place de manière significative. Dans la portion aval de la zone d'étude, là où les formations géologiques sont les moins résistantes à l'érosion (notamment la formation de Bécancour) les rivières Nicolet et Saint-François ont creusé leur lit dans le roc à moins de 10 m de profondeur.

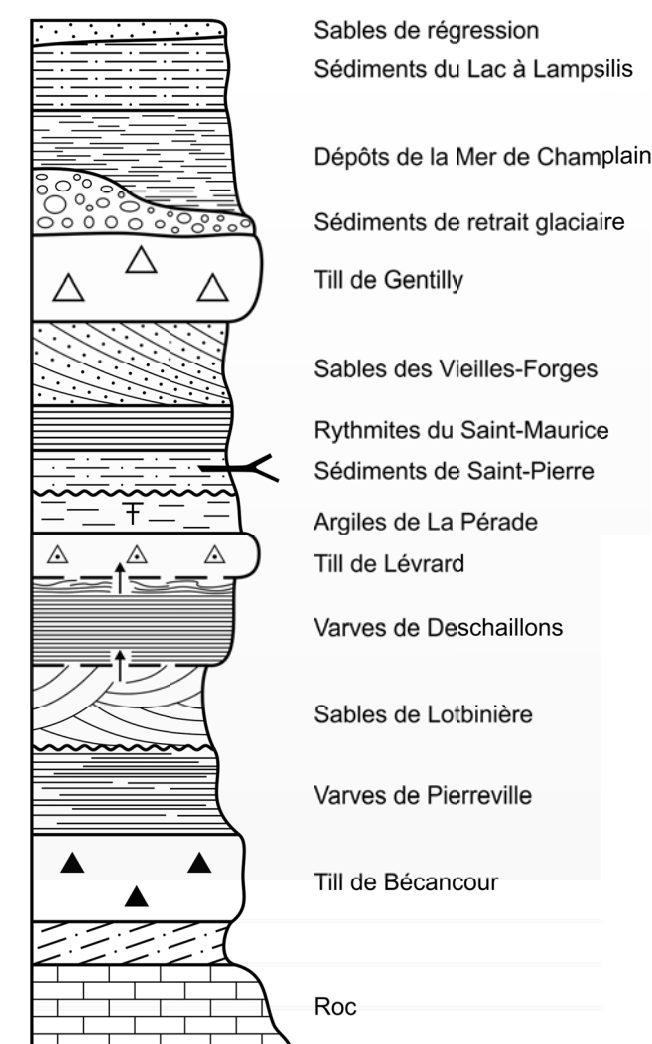
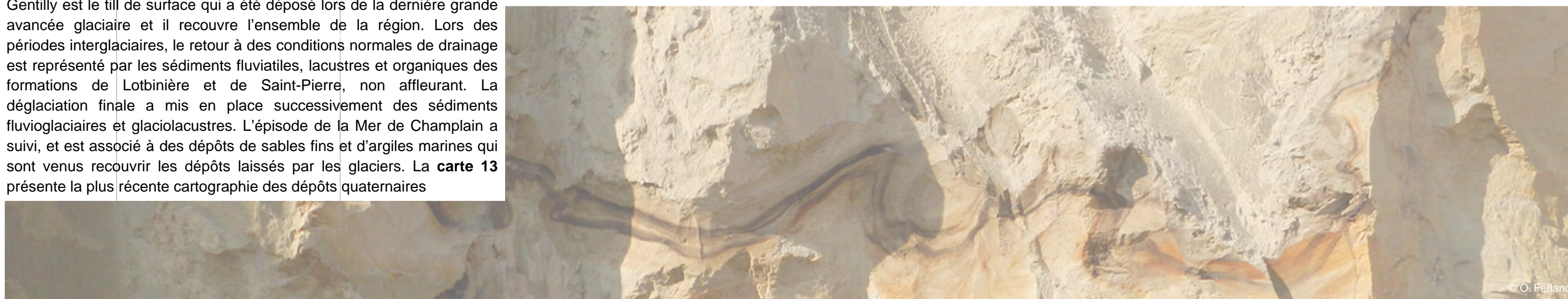
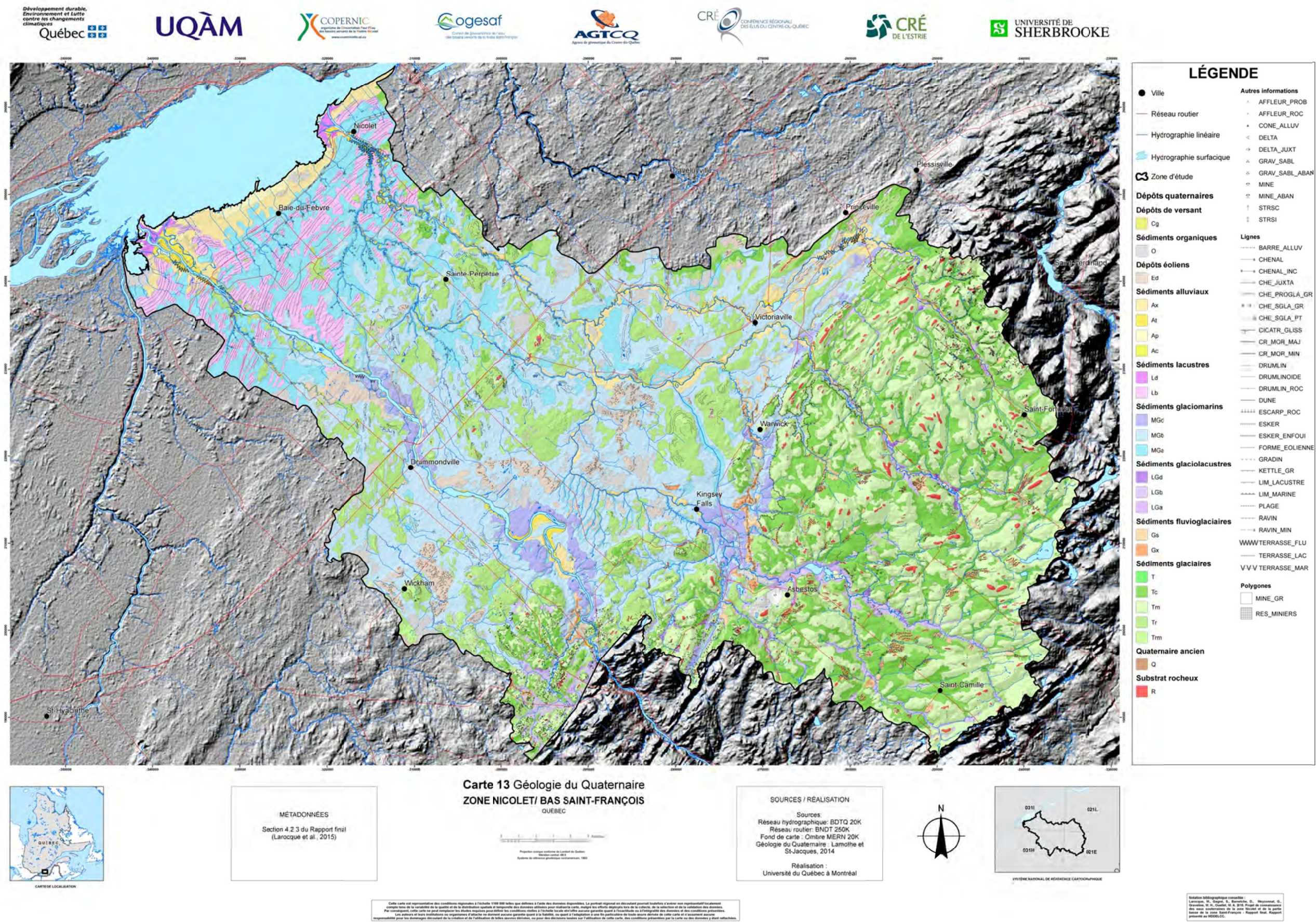


Figure 6 Coupe stratigraphique de la succession quaternaire des Basses-Terres du Saint-Laurent (tiré de Lamothe et Saint-Jacques, 2014).



© O. Ferland





© O. Ferland

Hydrostratigraphie des dépôts meubles

Des coupes hydrostratigraphiques ont été réalisées à quatre endroits sur la zone d'étude (**Figure 7**). La coupe hydrostratigraphique A (**Figure 8**) s'étend du fleuve à la limite amont de la zone d'étude. Elle donne un aperçu général de la stratigraphie des dépôts meubles ainsi que de la distribution amont/aval de la géologie du roc. La partie amont est recouverte de till mince. Celui-ci n'est pas présenté sur la coupe en raison de sa faible épaisseur. La zone centrale est principalement recouverte de till compact avec à certains endroits des dépôts granulaires superposés au till. Les dépôts organiques sont situés soit directement sur le till compact ou encaissés dans les dépôts granulaires. En aval la stratigraphie devient plus complexe avec la présence de dépôts quaternaires anciens qui reposent sur le flanc de la dépression du roc.

La coupe stratigraphique B (Erreur ! Source du renvoi introuvable.) est localisée dans la partie aval de la zone d'étude. Elle met en évidence l'épaisseur importante des dépôts argileux, la présence de matériaux granulaires sous les dépôts argileux ainsi que la présence de dépôts Quaternaires anciens sous le till. Ces derniers ont été observés au forage NSF-R8, à Sainte-Monique. Les sondages stratigraphiques réalisés dans le secteur de Saint-Zéphirin-de-Courval s'arrêtent au contact du till, mais indiquent que ce dernier se trouve approximativement à la même profondeur qu'au forage NSF-R8, soit environ 20 m. Les données provenant du SIH indiquent quant à eux une profondeur du roc à 30 m. La combinaison de ces informations a permis de confirmer l'étendue des dépôts Quaternaires anciens entre les rivières Nicolet et Saint-François.

La coupe stratigraphique C (Figure 10) croise la coupe A à la hauteur du forage NSF-R10 (**Carte 9**). Elle permet de visualiser la dépression du roc dans le secteur de Sainte-Brigitte-des-Saults et de Saint-Léonard d'Aston. À Sainte-Brigitte-des-Saults, la dépression est probablement due à la présence d'un réseau de failles (les données du MERN indiquent que leur localisation exacte est incertaine) entre la ligne de Logan et la faille du Foulon (voir coupe A).

Les levés géophysiques montrent la présence de dépôts granulaires (Quaternaire ancien) d'une épaisseur supérieure à 20m du côté N-E de la rivière Nicolet sud-ouest. Ces derniers sont recouverts d'argile formant ainsi un aquifère captif. Un peu plus en aval, là où la rivière bifurque vers le nord, les dépôts argileux sont absents et un till remanié est observé en surface. Encore un peu plus en aval un troisième levé géophysique indique la présence de dépôts granulaire sous l'argile. L'étendue de cette formation granulaire est localement importante puisqu'elle est retrouvée également au puits municipal de la municipalité de Sainte-Perpétue qui l'utilise comme source d'approvisionnement en eau potable.

La coupe stratigraphique D (Figure 11) croise la coupe A à la hauteur du forage NSF-R4 et passe par les forages NSF-R2 et NSF-R9. Elle met en évidence les dépôts sableux présents entre les rivières Nicolet centre et Nicolet sud-ouest. Ces dépôts d'origine éolienne en surface peuvent être en alternance avec des couches silteuses créant ainsi des conditions de nappe semi-captive. Cette séquence peut dépasser 13 m et ces dépôts sableux constituent un aquifère local qui est utilisé entre autres, par la municipalité de Saint-Albert. Vers le nord-est, la couverture des dépôts devient mince et l'aquifère du roc fracturé est en condition de nappe libre.

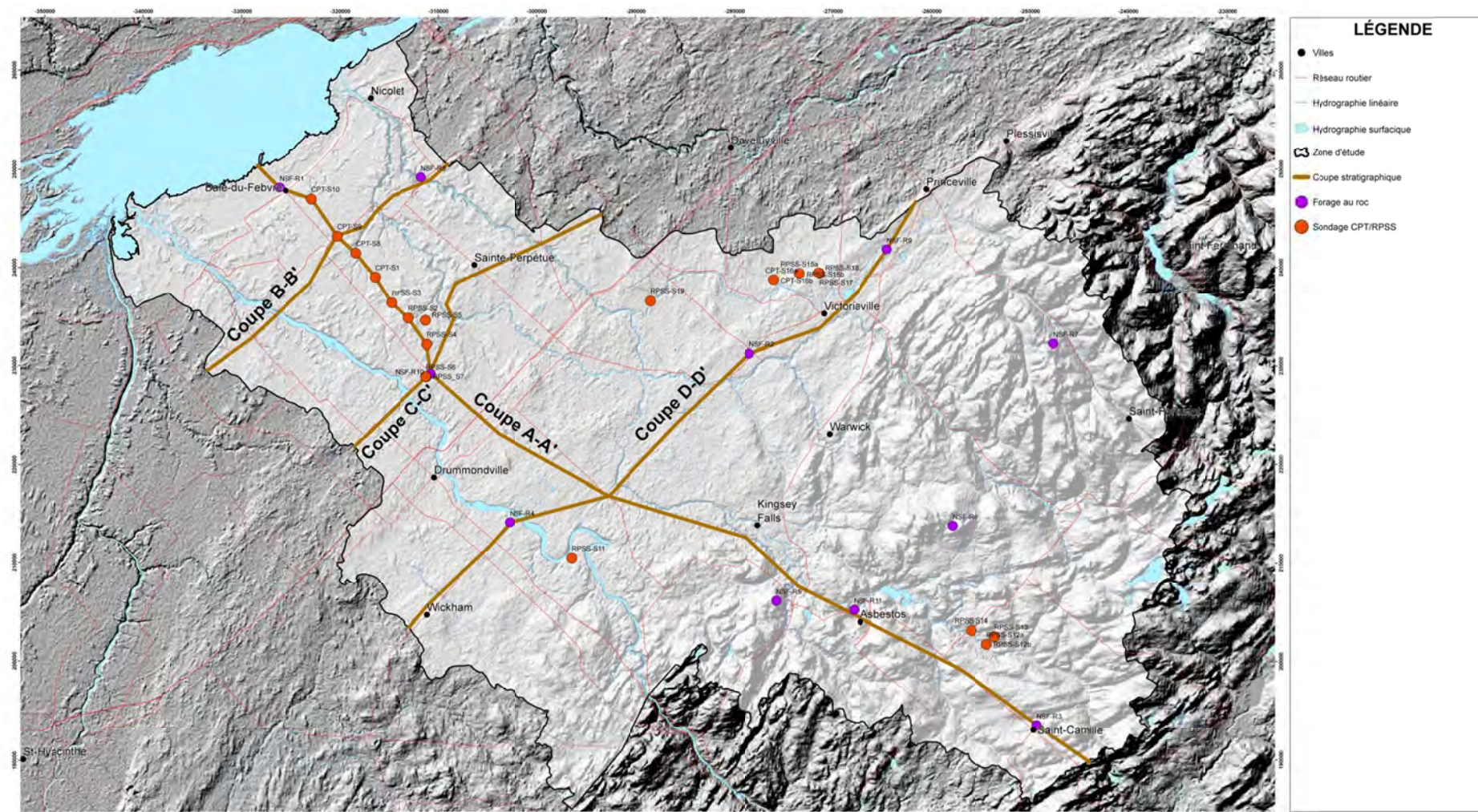


Figure 7 Localisation des coupes hydrostratigraphiques

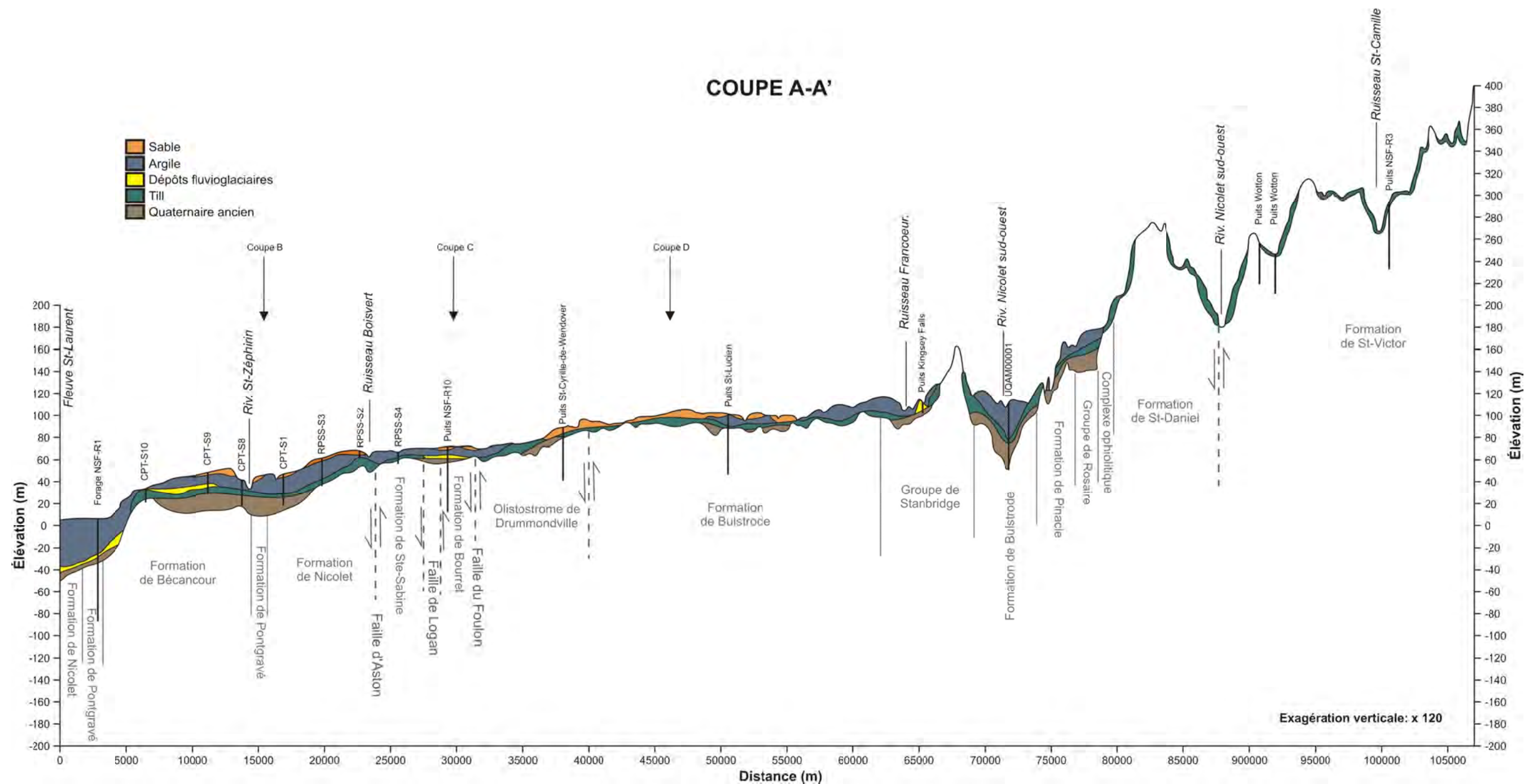


Figure 8 Coupe hydrostratigraphique A

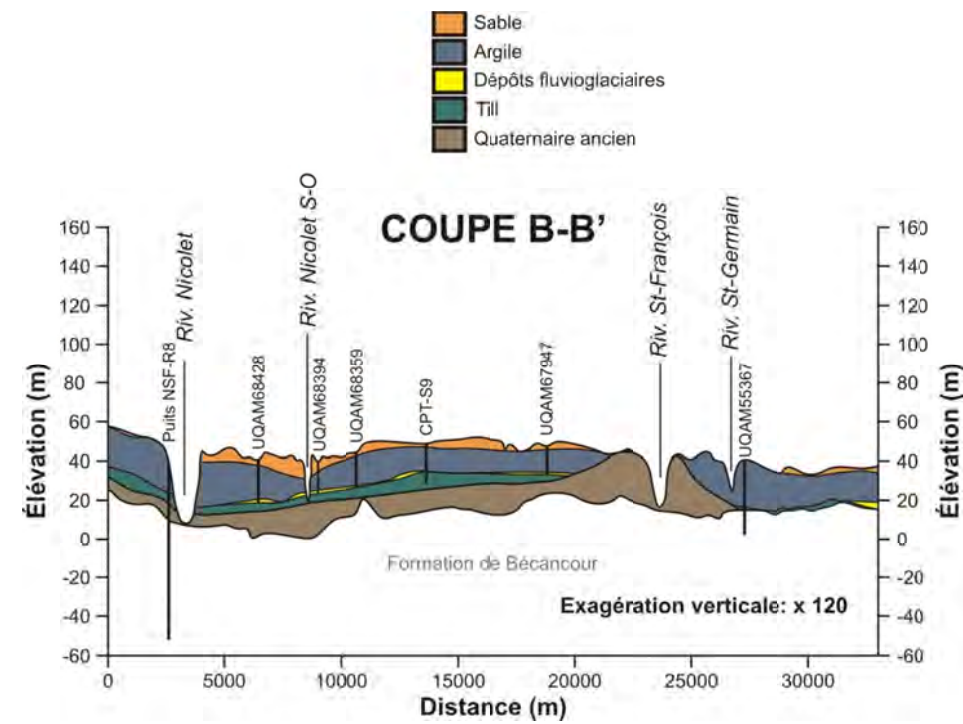


Figure 9 Coupe stratigraphique B

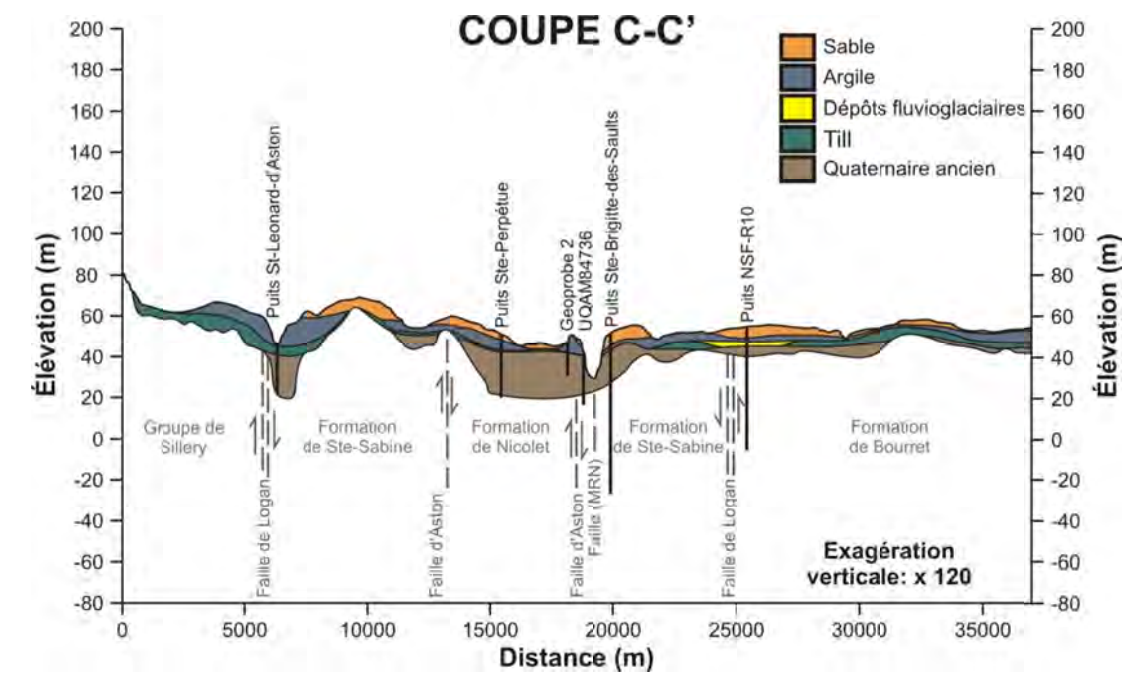


Figure 10 Coupe stratigraphique C

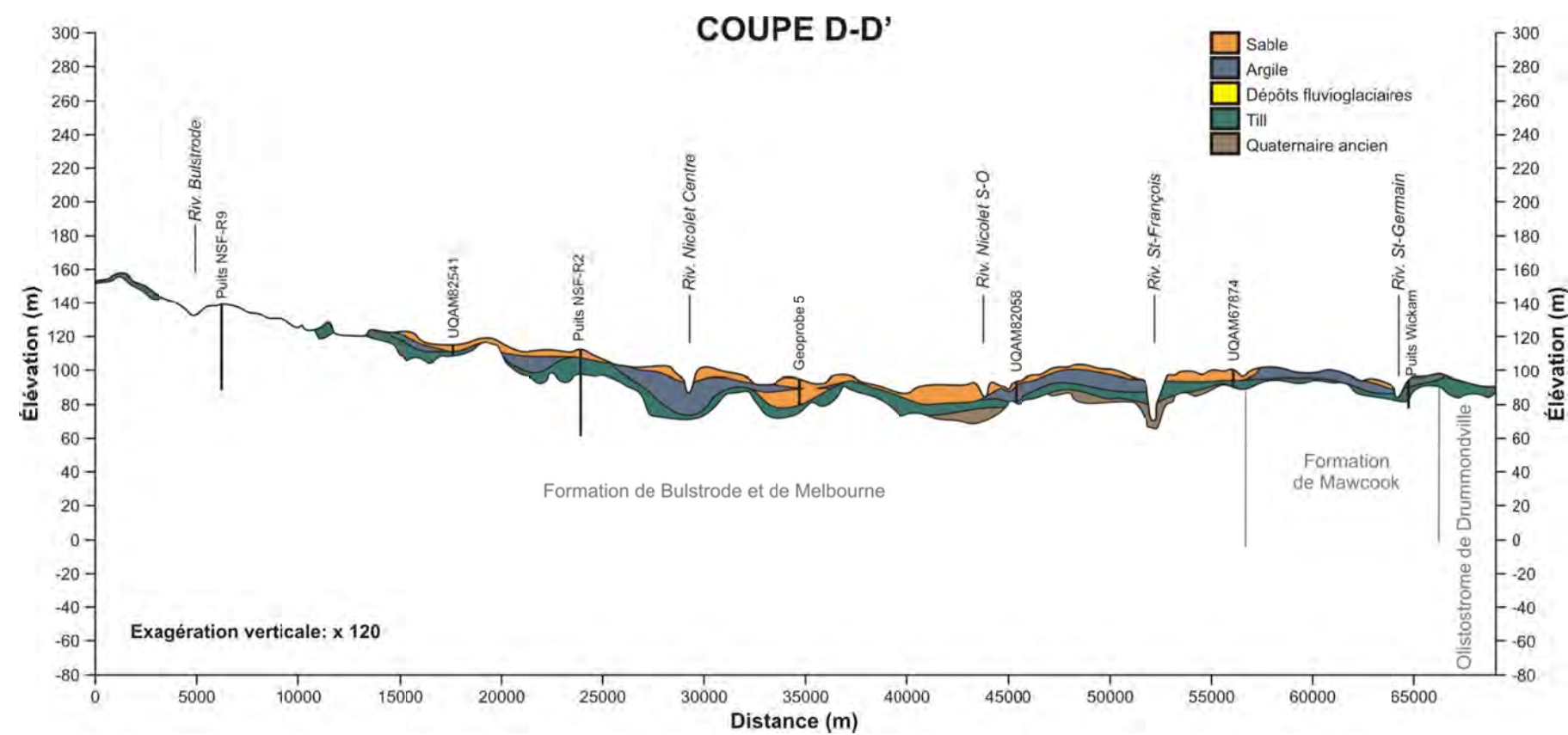


Figure 11 Coupe stratigraphique D

Conditions de confinement

Description

Le sous-sol est généralement constitué des unités superposées avec différents types de dépôts meubles ou de roches. Un aquifère représente une formation géologique suffisamment perméable pour permettre le pompage de l'eau. Les unités pour lesquelles la matrice géologique est peu ou pas perméable et limite l'écoulement de l'eau souterraine sont appelées aquitards ou aquicludes et constituent des limites entre les aquifères.

Dans un aquifère à nappe libre (**Figure 12**), l'eau des précipitations s'infiltre dans les matériaux meubles ou dans la roche fracturée jusqu'au niveau où toute la porosité est occupée par l'eau. Ces aquifères sont situés en surface et sont généralement plus sensibles à la contamination. Les puits de surface sont mis en place dans ce type d'aquifère. Les aquifères captifs sont confinés par un ou plusieurs aquitards ou aquicludes. Les aquifères captifs sont ainsi sous pression et cette pression (le niveau piézométrique) se mesure dans les puits. Un puits artésien est un puits dans lequel la pression excède l'élévation de la surface du sol. Une nappe captive n'est pas directement alimentée par l'infiltration de surface, mais reçoit généralement une alimentation latérale provenant de l'amont où l'aquifère est à nappe libre. Une nappe captive se trouve ainsi mieux protégée d'une source de contamination qui provient de la surface du sol. Les aquifères semi-captifs sont des cas intermédiaires entre la nappe libre et la nappe captive dans lesquels les couches confinantes ne sont pas totalement imperméables. Dans ce cas, il peut y avoir une circulation d'eau limitée entre les couches géologiques.

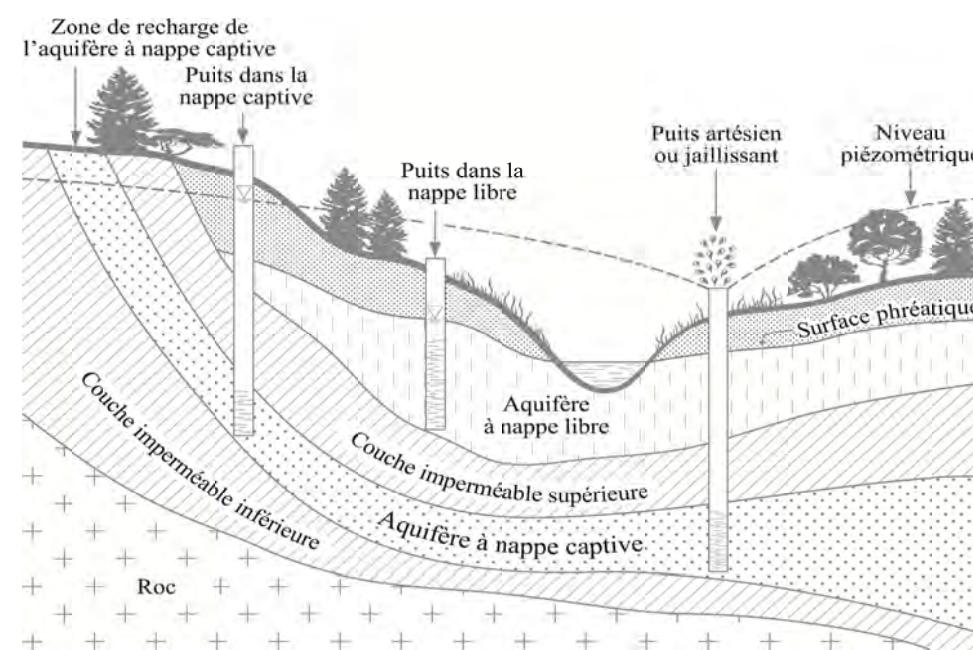


Figure 12 Schéma hydrogéologique conceptuel (modifié de Anctil et al., 2005)

Méthode utilisée

Les conditions de nappe libre dans le roc se trouvent là où les dépôts meubles sont peu épais et perméables, ainsi qu'aux endroits où le roc affleure en surface. À l'opposé, lorsqu'une couche épaisse de sédiments fins et peu perméables couvre le roc, l'écoulement souterrain est isolé de l'écoulement de surface. Dans ce projet, les zones de confinement ont été déterminées suite à l'interpolation de l'épaisseur des différentes unités quaternaires imperméables. Les conditions de confinement de l'écoulement souterrain dans le roc ont été classées en fonction de trois contextes hydrogéologiques distincts :

- **Conditions de nappe libre** : roc affleurant en surface ou recouvert par une couche de till d'épaisseur inférieure à 3 m ou d'une couche d'argile inférieure à 1 m.
- **Conditions de nappe captive** : roc recouvert par une couche d'argile et/ou silt d'épaisseur supérieure à 3 m ou par plus de 5 m de till compact.
- **Conditions de nappe semi-captive** : roc recouvert par une couche de till compact de 3 à 5 m d'épaisseur et/ou une couche argileuse ou silteuse de 1 à 3 m d'épaisseur.



Rivière Nicolet © O. Ferland

Interprétation pour la zone d'étude

La distribution spatiale de conditions de confinement pour l'aquifère au roc est montrée à la **carte 18**. Les conditions de nappe libre se trouvent généralement aux plus hautes altitudes dans le piémont et les Appalaches, ainsi qu'en plaine quand les dépôts sont peu épais. Ces zones d'aquifère à nappe libre représentent 55 % de la superficie de la zone d'étude. Les conditions de nappe captives ont surtout observé à l'aval du bassin proche du fleuve Saint-Laurent, pour des altitudes généralement inférieures à 90 m au-dessus du niveau de la mer. Les zones captives représentent 27 % de la superficie du territoire. Les conditions de nappe semi-captive sont observées dans les autres portions du bassin et représentent 18 % du territoire.

Contextes hydrogéologiques

Description

Les contextes hydrogéologiques représentent la répartition spatiale des séquences hydrostratigraphiques typiques des dépôts meubles. La carte des dépôts quaternaires montre la répartition spatiale des dépôts présents en surface, mais ne permet pas de visualiser comment sont organisés les sédiments avec la profondeur. L'agencement stratigraphique avec la profondeur est connu à partir des forages. La compilation, l'analyse et le traitement de ces informations géologiques permet de produire un modèle en trois dimensions des unités quaternaires. La représentation des contextes hydrogéologiques est toutefois faite sur une carte en deux dimensions, en regroupant les successions d'unités quaternaires typiquement rencontrées. Par exemple, une première unité typique pourrait être une zone définie par une couche d'argile en surface, reposant sur une unité de sable en contact avec le roc. Une deuxième unité serait définie par une mince couche de sable présente en surface, reposant sur une unité de till en contact avec le roc, etc.

Interprétation pour la zone d'étude

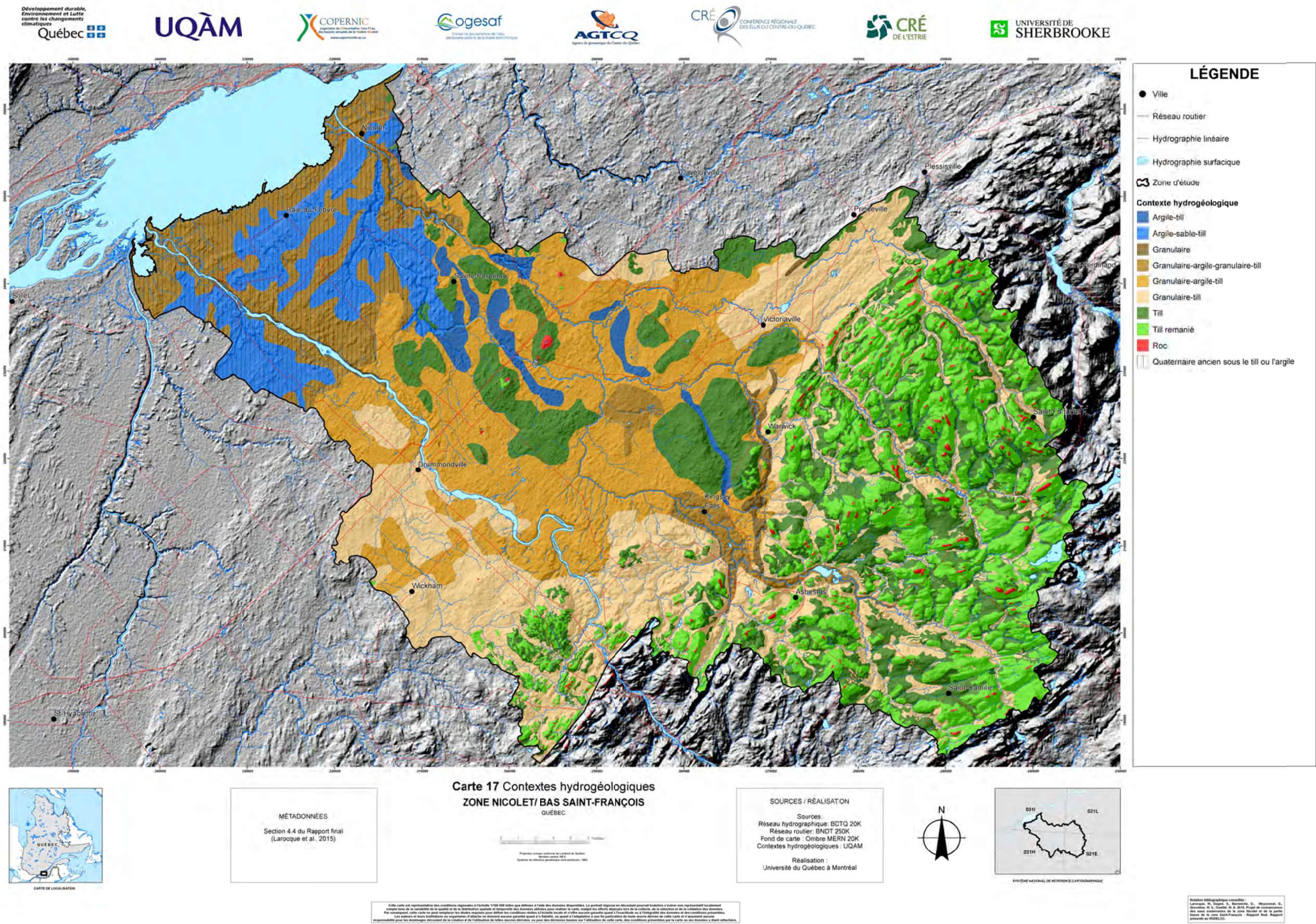
Pour la zone à l'étude, certains regroupements ont dû être réalisés afin d'assurer un aspect visuel intéressant. Les dépôts holocènes et les sables littoraux ont été regroupés en une seule unité nommée «granulaire». Les sables des Vieilles Forges, les varves de Deschaillons, les sédiments de Saint-Pierre et le Till de Bécancour ont été regroupés en une seule unité nommée «Quaternaire ancien». Tous les contextes hydrogéologiques des dépôts meubles reposent sur le roc fracturé. L'épaisseur des unités n'a pas été prise en compte dans le choix et la simplification des contextes types. L'utilisation des coupes géologiques (**Figure 8**) permet de prendre connaissance de l'épaisseur des différentes unités.

La **carte 17** illustre la répartition spatiale des contextes types. La zone appalachienne est dominée par les contextes d'affleurements de roc, de till, de till remanié et de dépôts granulaires reposant du till. Ce type de contexte est principalement rencontré dans le fond des vallées, là où les dépôts ont pu s'accumuler. Il est possible que des dépôts silteux ou argileux soient présents sous les dépôts granulaires. Cependant, les informations n'ont pas permis de généraliser ce contexte à toutes les vallées de la portion aval de la zone d'étude. La vallée de la rivière Nicolet sud-ouest entre les trois lacs et Kingsey Falls est caractérisée par une séquence de dépôts granulaires superposés à un till reposant sur des dépôts argileux compacts et parfois des graviers. L'épaisseur des dépôts fins peut atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Le forage NSF-R11, localisé près de la rivière Nicolet à Asbestos, ainsi qu'un forage de consultant localisé à Danville, a permis de valider l'étendue de la vallée enfouie. Cette dépression du roc causée sans doute par le réseau de failles dans le secteur s'étend de la région de Kingsey Falls jusqu'en amont du secteur des Trois-Lacs, et peut-être même plus en amont.

Dans la partie centrale (entre le piémont et l'autoroute 20), les dépôts argileux gagnent en importance et leur épaisseur augmente, en général, vers la partie aval. L'argile affleure en surface à quelques endroits, mais elle est généralement recouverte par des dépôts sableux d'origine littorale ou éolienne.

C'est dans ce contexte particulier, de sables éoliens et littoraux reposants sur une couche d'argile ou de till, que s'est développée la majorité des tourbières de la zone d'étude. Des dépôts granulaires sont aussi présents sous l'argile dans la zone comprise entre les rivières Nicolet et Nicolet sud-ouest. Les dépôts sableux superficiels de ce même secteur forment un potentiel aquifère, car leur épaisseur demeure supérieure à 5 m sur plusieurs kilomètres carrés, comme c'est le cas dans le secteur de Saint-Albert. Les contextes de till sur roc sont localisés sur les topographies plus hautes. À ces endroits, les dépôts argileux ont été érodés lors du retrait de la mer de Champlain. Un contexte particulier de dépôts granulaires d'origine fluvio-glaciaire forme l'esker Asbestos-Tingwick. Ce cordon de sable et de gravier est orienté S-O/N-E. Ces dépôts de granulométrie grossière reposent en général directement sur le roc, bien qu'on puisse y retrouver un till. Leur épaisseur peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur ce qui en fait un aquifère important dans la région. Les argiles ont recouvert les flancs de l'esker ce qui pourrait créer des conditions de nappe semi-captive par endroit.

Dans la partie aval, les contextes argileux gagnent en importance et la stratigraphie est complexifiée par la présence, combinée ou non, de matériaux granulaires sous les argiles marines et sous le till. Sur la **carte 17**, la zone hachurée indique qu'il y a potentiellement des sédiments quaternaires anciens sous le till (**c.f. coupes stratigraphiques A, B et C**). Les dépôts granulaires présents sous les argiles de la mer de Champlain peuvent constituer des aquifères, notamment dans le secteur de Sainte-Perpétue et de Saint-François-du-Lac. Près du fleuve, les données obtenues lors du forage NSF-R1 indiquent que le contexte «argile-granulaire-till» est dominant.



4 CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

Propriétés hydrauliques

Description

L'eau souterraine remplit les porosités du milieu géologique, c'est-à-dire les fractures (dans les aquifères rocheux) et les espaces entre les grains (dans les aquifères de dépôts meubles). Plus la porosité est élevée, plus il y a d'espace disponible pour emmagasiner de l'eau dans ce qui constitue l'aquifère. Pour qu'une unité géologique soit intéressante pour l'approvisionnement en eau souterraine, il faut aussi que cette eau se renouvelle, c'est-à-dire qu'il faut que les vides communiquent entre eux pour que l'eau puisse s'infiltrer et circuler d'un endroit à un autre. Pour évaluer si le contenant qu'est le milieu géologique constitue un bon aquifère, il faut d'abord connaître sa porosité et son degré de fracturation. Pour définir la capacité d'une formation géologique à transmettre l'eau rapidement d'un vide à l'autre, il faut également mesurer sa conductivité hydraulique. Plus cette dernière est élevée et plus l'aquifère est productif. Il est possible de mesurer la conductivité hydraulique (K) du milieu par différents essais hydrauliques réalisés directement dans les forages.

Méthodes utilisées

Dans le cadre de ce projet, des essais hydrauliques ont été réalisés dans les forages au roc et dans les dépôts granulaires. Pour les propriétés du roc, les tests ont consisté en la réalisation de dix essais de pompage, de neuf essais à charge variable et de quatre essais par obturateur. Pour les propriétés des dépôts granulaires, des essais à charge variable ont été réalisés dans treize piézomètres installés dans le cadre de ce projet.

Interprétation pour la zone d'étude

Le **tableau 3** liste les données disponibles lors des travaux de terrain. Les valeurs de conductivités hydrauliques présentées sont les moyennes des essais réalisés lors du projet.

Les différentes données d'essais hydrauliques disponibles lors de ce projet (essais sur le terrain, données de consultants, traitement des données du Système d'information hydrogéologique du Québec) ont montré qu'il n'existait pas de différence notable de conductivités hydrauliques entre les différents Groupes géologiques du roc. Les résultats indiquent cependant une légère différence entre certains secteurs de la zone amont (formations de Saint-Daniel et de Sweetsburg

par exemple) et la partie aval (formations de Bourret et de Mawcook). L'hétérogénéité est également plus importante dans la zone amont, ce qui pourrait refléter une plus grande fracturation. À l'inverse, les essais réalisés sur les formations géologiques de la partie aval, notamment les groupes de Lorraine et de Queenston, ont montré plus d'homogénéité, et sont représentés par une valeur moyenne de K plus faible. Les conductivités hydrauliques mesurées dans les dépôts granulaires ont été généralement plus élevées que celles du roc fracturé.

Piézométrie et écoulement

Description

Le niveau piézométrique est le niveau que l'eau souterraine atteint dans un puits. Si le niveau piézométrique de l'aquifère régional est connu en tous points d'un territoire, la surface imaginaire qui relierait tous les niveaux mesurés s'appellerait la surface piézométrique. Pour représenter la surface piézométrique sur une carte, des lignes sont tracées entre différents points de même niveau piézométrique (appelées isopièzes ou courbes piézométriques), comme sur une carte topographique. L'écoulement de l'eau souterraine s'effectue des points de piézométrie élevée aux points de piézométrie plus basse.

Méthode utilisée

Les données piézométriques au roc proviennent de niveaux mesurés dans les puits forés dans le cadre de ce projet, des puits qui ont été échantillonnés pour la géochimie, ainsi que des niveaux piézométriques provenant de rapports de consultants ainsi que du système d'information hydrogéologique du MDDELCC. Les niveaux piézométriques ponctuels ont été interpolés pour obtenir la surface piézométrique présentée à la **carte 18**.

Interprétation pour la zone d'étude

Les niveaux piézométriques sur la zone d'étude varient d'un maximum de 670 m en zone amont à un minimum de 0 m en zone aval. La profondeur moyenne du niveau par rapport au sol, basée sur tous les niveaux d'eau disponible, est de 4,8 m. L'écoulement général dans l'aquifère fracturé se fait des Appalaches au fleuve Saint-Laurent, avec des variations locales causées principalement par la topographie et les rivières principales. Dans la partie amont, les niveaux piézométriques

suivent généralement la topographie. L'écoulement souterrain a lieu des hauts topographiques (zones de recharge) aux creux de vallées (zones de décharge) qui sont souvent occupées par les cours d'eau et les plans d'eau. Dans la partie appalachienne de la zone d'étude, le gradient hydraulique varie entre 0,01 et 0,1 m/m. Les gradients les plus forts se retrouvent là où la topographie est très accidentée. Dans la partie aval de la zone d'étude, le gradient hydraulique diminue significativement et atteint 0,0002. Un dôme piézométrique est observé dans le secteur de Notre-Dame-du-Bon-Conseil. Dans cette zone, lorsque les rivières sont en contact avec l'aquifère fracturé. Les courbes isopièzes sont ainsi déviées par les rivières Nicolet, Nicolet sud-ouest et Saint-François. À l'inverse, la rivière Saint-Zéphirin coule sur l'argile et n'est pas en contact avec l'aquifère. L'aquifère demeure déconnecté de la surface dans les zones les plus en aval, car l'épaisseur d'argile tend à augmenter dans cette direction, isolant les rivières de l'aquifère de roc fracturé.

Tableau 3 Données acquises sur la conductivité hydraulique

Site	Description	K moyenne (m/s)
NSF-R10	Ardoise calcaire	7,1x10 ⁻⁶
NSF-R9	Ardoise calcaire	6,7x10 ⁻⁷
NSF-R8	Shale	4,3x10 ⁻⁸
NSF-R7	Schiste	9,9x10 ⁻⁷
NSF-R6	Schiste	3,6x10 ⁻⁷
NSF-R5	Schiste	2,2x10 ⁻⁹
NSF-R4	Ardoise calcaire	2,6x10 ⁻⁶
NSF-R3	Schiste	5,8x10 ⁻⁶
NSF-R2	Ardoise calcaire	1,8x10 ⁻⁷
NSF-R1	Calcaire shale	4,1x10 ⁻⁷
NSF_PZ1	Till sableux	5,0x10 ⁻⁷
NSF_PZ2	Ardoise calcaire	3,7x10 ⁻⁶
NSF_PZ3	Shale grès	3,5x10 ⁻⁶
NSF_PZ4S	Sable	1,2x10 ⁻⁵
NSF_PZ4P	Grès shale	3,2x10 ⁻⁶
NSF_PZ5S	Sable et silt	2,0x10 ⁻⁷
NSF_PZ5P	Till et sable	2,8x10 ⁻⁷
NSF_PZ6	Grès shale	1,8x10 ⁻⁶
NSF_PZ7S	Sable et gravier	4,0x10 ⁻⁵
NSF_PZ7P	Till	5,8x10 ⁻⁷
NSF_PZ8	Ardoise	7,7x10 ⁻⁶
NSF_PZ9	Sable	1,2x10 ⁻⁶
NSF_PZ20	Ardoise calcaire	6,2x10 ⁻⁶



Baie-du-Febvre© S. Gagné

Recharge et bilan hydrique

Description

Le bilan hydrique est une évaluation des quantités d'eau qui contribuent aux différents flux du cycle de l'eau :

- **Les précipitations**, sous forme de pluie ou de neige, sont la source d'apport en eau dans le système. Elles dépendent principalement des conditions climatiques.
- **L'évapotranspiration** correspond à l'eau qui est transpirée par les plantes et évaporée au niveau du sol. Elle dépend du type de végétation, des propriétés physiques du sol, de la température, du taux d'humidité dans l'air et de l'insolation solaire.
- **Le ruissellement** peut-être divisé en deux :
 - Le ruissellement de surface survient lors d'un événement de précipitation durant lequel la capacité d'infiltration du sol est atteinte de sorte que l'eau ne peut plus y pénétrer et s'écoule en surface. Il dépend, entre autres, du climat, de la pente, du type, des propriétés physiques et de l'utilisation du sol;
 - Le ruissellement hypodermique s'effectue sous la surface et est constitué de l'eau qui s'infiltre dans le sol et qui circule horizontalement dans les couches supérieures jusqu'à ce qu'elle fasse résurgence à la surface, à la faveur de changements de pente ou de géologie.
- **La recharge** correspond à l'eau qui s'infiltre dans le sol et qui atteint l'aquifère.

Pour assurer la pérennité de l'eau souterraine dans une région, il est nécessaire de connaître les quantités disponibles ainsi que le taux de renouvellement de l'eau souterraine qui correspond à la recharge.

Méthode utilisée

Pour les besoins de cette étude, la recharge de l'aquifère au roc a été estimée à l'aide du modèle HydroBilan, un modèle d'infiltration qui permet de réaliser des bilans hydriques journaliers et spatialisés sur des mailles de 500 x 500 m. Dans ce bilan, l'eau disponible par la pluie ou la fonte de la neige provient des apports verticaux (AV) fournis par le Centre d'expertise hydrique du Québec pour la zone d'étude. Le modèle HydroBilan permet de calculer le ruissellement, l'évapotranspiration ainsi que l'infiltration en fonction des données météorologiques et géologiques caractérisant les mailles de la zone d'étude. Il a été utilisé sur une durée de 20 ans (1990-2010) et sur près de 18 300 mailles.

Interprétation pour la zone d'étude

Les résultats généraux du bilan hydrique sont illustrés à la **figure 13**. Pour la période simulée, les apports verticaux sont en moyenne de 1063 mm/an. Le modèle simule un ruissellement total (de surface et d'écoulement hypodermique) de 444 mm/an pour l'ensemble de la zone d'étude et pour la période 1989-2009, soit l'équivalent de 42% des apports verticaux. L'évapotranspiration moyenne annuelle simulée par le bilan hydrique est de 467 mm/an (44% des apports verticaux). La recharge moyenne de l'aquifère fracturé pour l'ensemble de la zone d'étude est de 152 mm/an, soit 14% des apports verticaux. Le débit total pompé à l'aquifère par les grands préleveurs et les particuliers correspond à une hauteur d'eau de 5 mm/an (cf. **section 5**). Ce flux est très faible en comparaison aux autres écoulements quantifiés dans la zone d'étude (3% de la recharge). Le volume d'eau qui retourne au lac Saint-Pierre est estimé à 1 mm/an au moyen de la modélisation des écoulements souterrains (cf. Larocque et al. 2015). Ce flux très faible s'explique par les conditions captives de l'aquifère et les faibles taux de recharge de la partie aval. Il est probable que l'aquifère soit alimenté de l'amont (des Appalaches) par un flux d'eau souterraine de l'ordre de 6 mm/an.

La variabilité temporelle des flux moyens résultant du calcul du bilan hydrique sur la zone d'étude de 1989 à 2009 montre que les taux d'infiltration varient de 190 mm/an à 310 mm/an (**Figure 14**). L'infiltration n'est pas toujours corrélée avec les AV ce qui indique qu'elle est contrôlée par des phénomènes de fréquence plus courte comme les variations saisonnières (fonte printanière lente ou rapide). Ceci reflète le fait que la quantité d'eau souterraine disponible est moins sensible aux variations interannuelles des précipitations que les débits de crue qui sont majoritairement composés de ruissellement de surface et hypodermique.

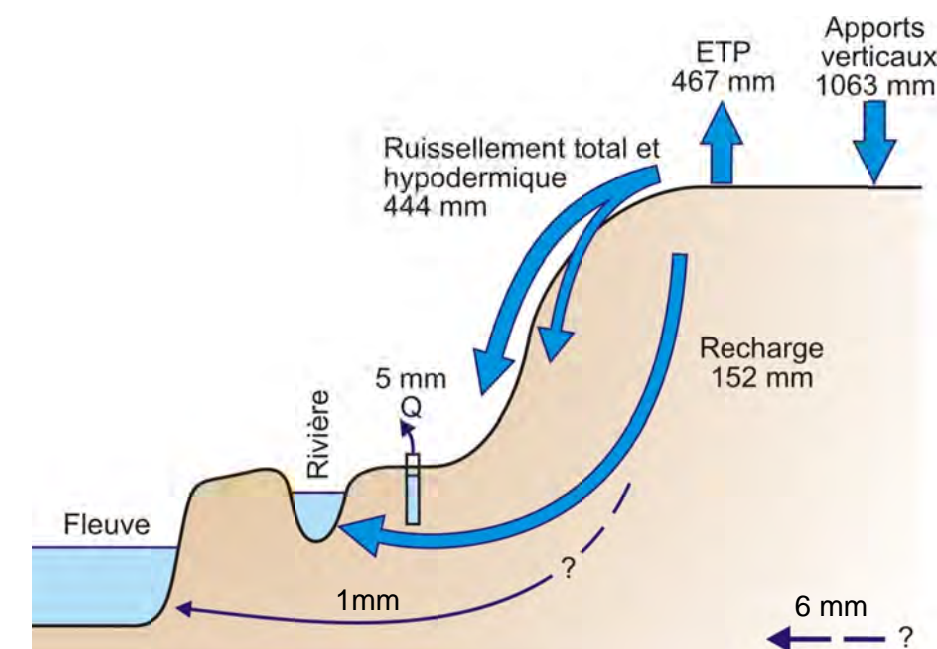


Figure 13 Bilan hydrique annuel moyen de la zone d'étude

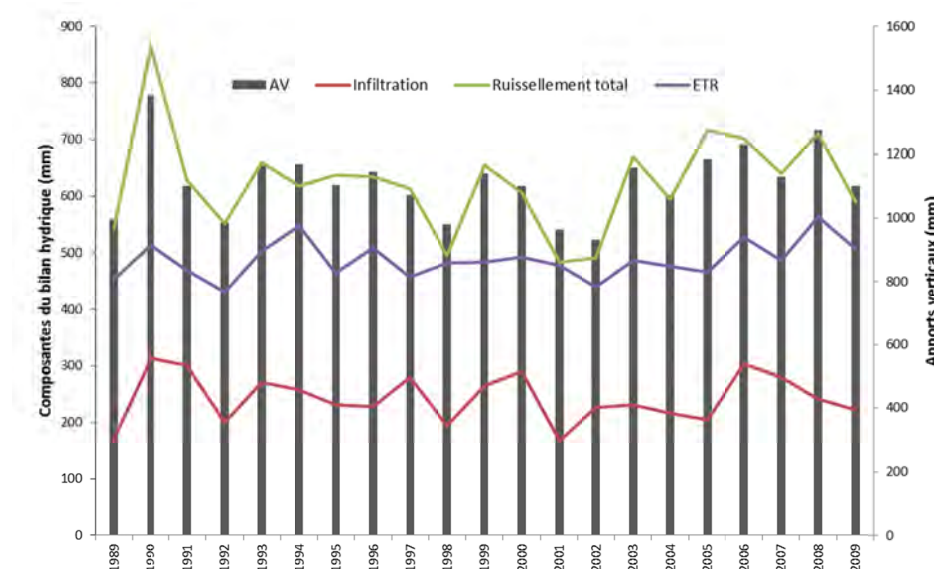


Figure 14 Évolution des flux moyens du bilan hydrique

Zones de recharge et de résurgence

Définition

La recharge correspond à la quantité d'eau qui alimente l'aquifère depuis l'infiltration de surface et qui constitue le renouvellement de l'eau souterraine. L'estimation de la recharge d'un aquifère est donc essentielle pour assurer la pérennité de l'eau souterraine et son exploitation. De façon générale, les principaux facteurs affectant la recharge sont le climat, la géologie, la topographie, les propriétés physiques des sols et la végétation en place. Comme ces facteurs varient d'un endroit à l'autre, la recharge n'est pas uniforme sur l'ensemble d'un bassin versant. La présence et la nature des dépôts meubles, de même que leurs propriétés physiques constituent les facteurs ayant le plus d'effet sur le taux de recharge. Ainsi, les zones d'affleurement rocheux et les dépôts meubles perméables définissent généralement les principales zones de recharge. À l'inverse, les zones pour lesquelles la recharge est faible, voire nulle, sont celles où la couverture argileuse est épaisse et continue. À l'échelle régionale, il est intéressant de pouvoir déterminer les zones de recharge importantes pour mieux les protéger des sources de contamination potentiellement présentes en surface.

Méthode utilisée

La répartition spatiale de la recharge au roc a été obtenue grâce au bilan hydrique spatialisé décrit à la section précédente. Les zones de recharge supérieures à 200 mm/an ont été identifiées comme zones de recharge préférentielle de l'aquifère au roc à la **Carte 19**. Les résurgences sont des décharges de l'eau souterraine à l'endroit des cours d'eau ou encore dans une source. Les résurgences se produisent lorsque le niveau piézométrique d'un aquifère en condition de nappe libre dépasse le niveau de la surface du sol.

Interprétation pour la zone d'étude

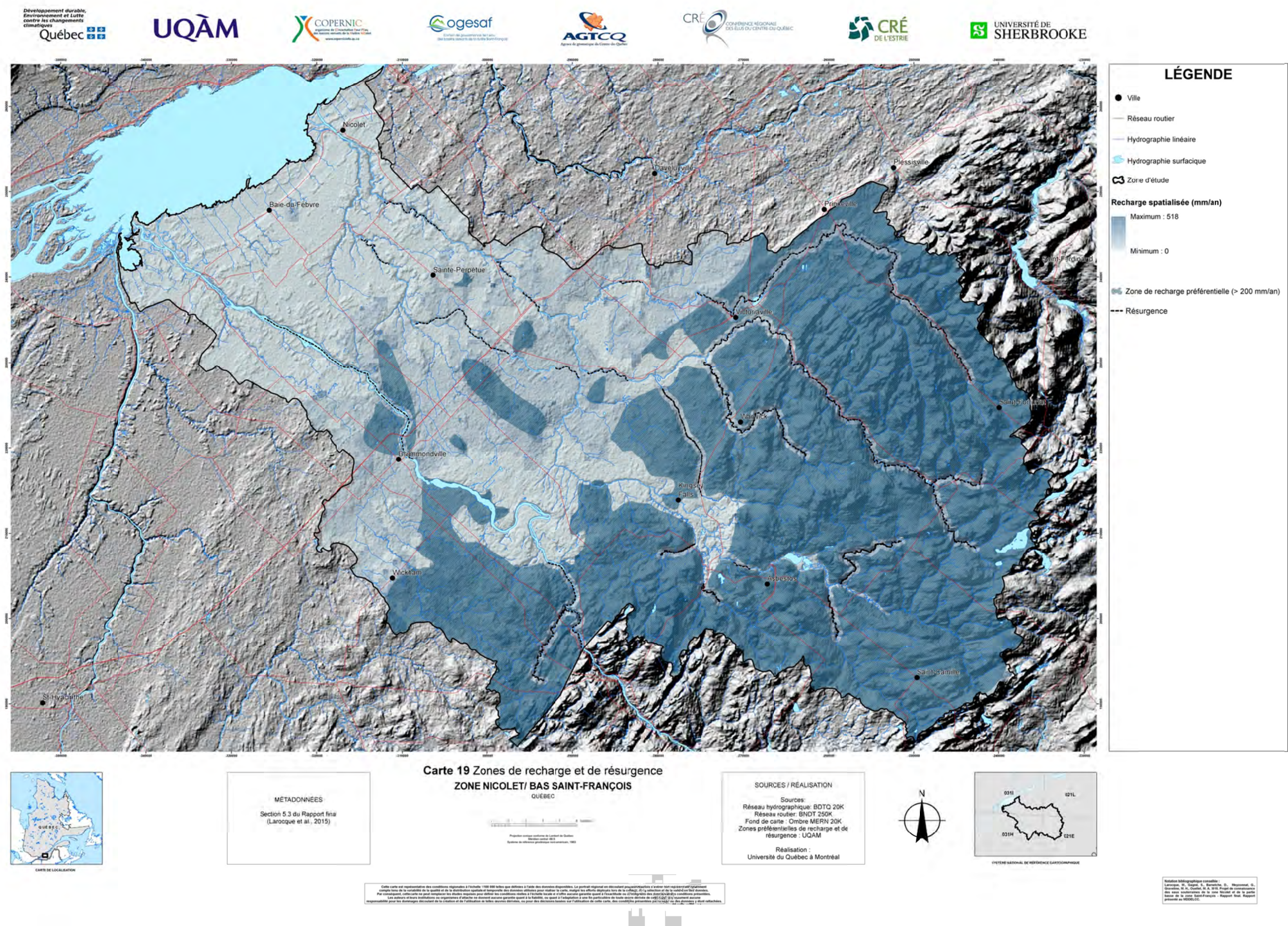
Sur la zone d'étude, la recharge varie de 0 à 518 mm/an (**Carte 19**). Les zones de recharge préférentielle sont situées principalement dans la partie amont du domaine étudié (Appalaches). Dans le piémont appalachien et la partie centrale, les zones de recharge sont localisées où l'aquifère rocheux est en condition de nappe libre. Toutes les zones de recharge préférentielle (généralisée ou localisée) ont également été mises en évidence par la géochimie. Il n'y a pas de zone de recharge préférentielle dans la portion située en aval où les dépôts fins sont continus et épais. Dans ce secteur, la géochimie montre des eaux plus minéralisées et probablement plus anciennes, donc recevant peu de recharge.

Les zones de résurgences de l'eau souterraine sont principalement constituées par le réseau hydrographique. Dans la zone amont, les cours d'eau principaux (rivière Nicolet, Nicolet centre, Nicolet sud-ouest et Bulstrode) sont les zones principales de résurgence. Dans la partie centrale, la présence de dépôts argileux limite la décharge de l'eau souterraine provenant de l'aquifère fracturé en isolant la rivière de l'aquifère. Seulement quelques portions des rivières sont en contact avec l'aquifère. Plus en aval, au nord-ouest de l'autoroute 20, le roc affleure dans le lit des principales rivières favorisant la résurgence d'eau souterraine. Encore plus en aval, le roc s'enfonce en profondeur isolant complètement les rivières de l'aquifère de roc fracturé.

Il existe peu de sources répertoriées sur la zone d'étude. Dans le secteur de Saint-Rémi-de-Tingwick, des résurgences sont captées pour la distribution d'eau potable dans des réseaux privés. Le secteur appalachien de la zone d'étude demeure celui où le potentiel de résurgence est le plus important à cause des forts gradients hydrauliques qui y prévalent.



© M. Ferlatte



Vulnérabilité des aquifères

Définition

La meilleure approche pour protéger un aquifère à l'échelle régionale est d'utiliser des outils de prévention de la contamination. Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité des nappes permettent de répondre à ce besoin. Suivant les variations de la topographie, de l'occupation du sol et de la géologie, certaines portions de l'aquifère sont naturellement mieux protégées que d'autres et sont ainsi moins vulnérables à une éventuelle contamination causée par les activités de surface.

Méthode utilisée

Il existe de nombreuses méthodes pour évaluer la vulnérabilité des aquifères. La méthode la plus utilisée, et celle préconisée par le MDDELCC, est la méthode DRASTIC (Aller et al., 1987) qui permet de cartographier la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à l'échelle régionale. La méthode DRASTIC évalue la vulnérabilité d'un aquifère à la contamination à partir de sept paramètres : la profondeur de la nappe d'eau, la recharge, la nature de l'aquifère, la texture du sol en surface, la topographie, la nature de la zone vadose, et la conductivité hydraulique de l'aquifère. Chaque paramètre est cartographié individuellement, puis les résultats sont combinés pour obtenir la carte des indices de vulnérabilité DRASTIC. Les indices obtenus selon cette méthode peuvent varier de 23 à 226. Plus l'indice est élevé, plus l'aquifère est vulnérable. La vulnérabilité de l'eau souterraine pour la zone Nicolet-Bas Saint-François a été estimée grâce à l'indice DRASTIC. Pour l'aquifère au roc, la carte de vulnérabilité a été tracée pour l'ensemble du bassin (**Carte 20**), tandis que pour les aquifères de dépôts granulaires, une compilation des indices DRASTIC des puits municipaux qui captent un aquifère granulaire a été réalisée.

Interprétation pour la zone d'étude

Aquifère rocheux

L'indice de vulnérabilité DRASTIC pour l'aquifère rocheux varie de 24 à 185 sur la zone d'étude (**Carte 20**). Vingt-huit pour cent de la zone d'étude présente une vulnérabilité de l'aquifère au roc inférieure à 100, 72 % de la zone d'étude présente un indice DRASTIC supérieur à 100 (seuil du Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP, 2014), et seulement 1 % dépasse le seuil de 180 (RPEP, 2014).

En aval de la zone d'étude, l'indice DRASTIC indique une vulnérabilité faible (50 à 75) à très faible (<50) pour les secteurs où l'aquifère au roc est en conditions captives. Dans la partie centrale de la zone d'étude et vers le piémont appalachien, la méthode DRASTIC indique une vulnérabilité contrastée avec présence de zones voisines dont la vulnérabilité est faible (<50), moyenne (75 à 100) à très élevée (>150). Ces zones marquent des enclaves où la vulnérabilité baisse et devient moyenne (indice DRASTIC de 76 à 100). Pour le secteur des Appalaches, la vulnérabilité DRASTIC est généralement élevée (indice DRASTIC de 126 à 150) à très élevée (indice DRASTIC de supérieur à 150).

Aquifères superficiels

Étant donné la distribution hétérogène des aquifères granulaires et le manque d'information reliée à celles-ci, aucune carte à l'échelle de la zone d'étude n'a été réalisée. Une compilation des indices DRASTIC disponibles dans les différents rapports hydrogéologiques fournis par les municipalités indique que les aquifères granulaires en nappe libre ont un indice DRASTIC supérieur à 100 et sont donc vulnérables. Cette vulnérabilité est causée par la faible profondeur de la nappe phréatique, une recharge élevée et une conductivité hydraulique élevée. Les aquifères granulaires en condition de nappe semi-captive ou captive sont moins vulnérables avec des indices DRASTIC inférieurs à 100. Les faibles taux de recharge ainsi que la présence d'un couvert de dépôts argileux contribuent à un indice faible. Donc, à partir de ces informations et des données obtenues dans le projet, il est possible d'affirmer que les aquifères granulaires en condition de nappe libre sont en général vulnérables à la contamination de surface.

Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)

Le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (Q-2, r 35.2) est entré en vigueur en 2014. Il remplace le Règlement sur le captage des eaux souterraines. Le nouveau règlement considère les seuils suivants en ce qui a trait à l'indice DRASTIC dans les aires de captages des puits d'approvisionnement eau potable régis par le Règlement :

- Faible : indice DRASTIC égal ou inférieur à 100
- Moyen : indice DRASTIC inférieur à 180
- Élevé : indice DRASTIC égal ou supérieur à 180

Lorsque l'indice DRASTIC est moyen ou élevé, ceci a un impact sur l'utilisation et la gestion du territoire recoupé par l'aire de protection d'un puits d'approvisionnement en eau souterraine. Des mesures doivent alors être prises pour limiter les risques de contamination de l'eau souterraine.

Géochimie de l'eau souterraine

Définition

Depuis les précipitations, jusqu'à ce qu'elle atteigne l'aquifère et tout au long de l'écoulement dans ce dernier, l'eau est soumise à des processus successifs qui modifient sa composition chimique. Les processus hydrogéochimiques sont généralement contrôlés ou influencés par différents facteurs tels que la dissolution de certains minéraux présents dans les roches et dans les sols, l'infiltration et l'écoulement de l'eau dans la matrice aquifère, les interactions entre les minéraux dissous, et la salinisation lorsque l'eau souterraine est en contact prolongé avec des argiles d'origine marines. Selon les processus auxquels elle est soumise, l'eau souterraine acquiert ainsi une signature particulière en fonction du milieu où elle se trouve et de ceux qu'elle rencontre lors de son parcours.

Méthode utilisée

Dans le cadre de ce projet, 190 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés auprès de particuliers, de municipalités ou d'entreprises. Sur l'ensemble des forages échantillonnés, 40 captaient l'eau d'un aquifère granulaire et 150 captaient l'aquifère du roc fracturé.

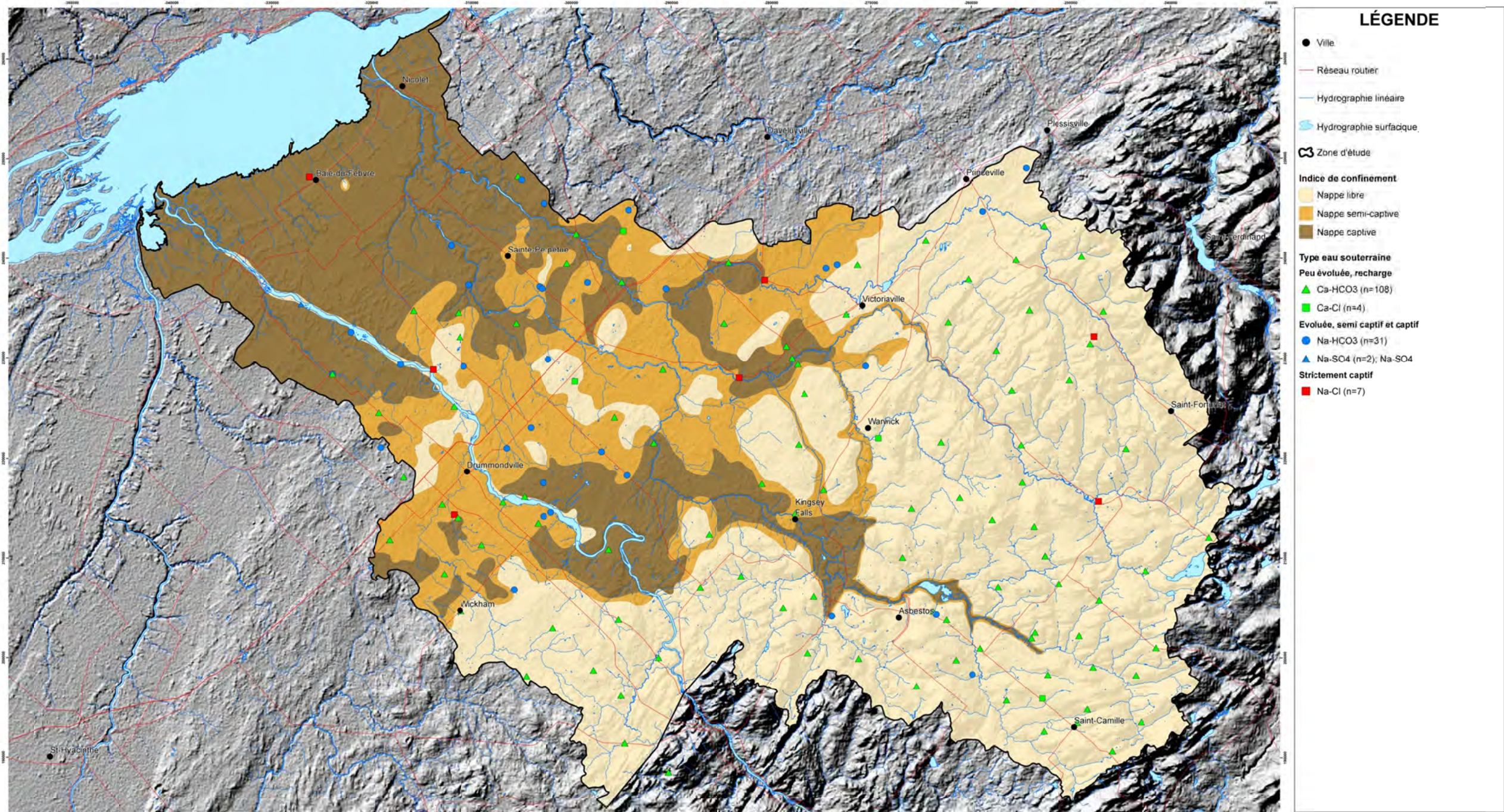
Les types d'eau sont définis en fonction des concentrations en ions majeurs (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-}) selon leur prédominance à représenter plus de 50% de la charge de la solution. Les concentrations pour les anions HCO_3^- et CO_3^{2-} ont été calculées à partir de la mesure de l'alcalinité totale et du pH.

Interprétation pour la zone d'étude

La **carte 21** montre la répartition des types d'eau qui ont été obtenus sur le bassin et qui est représentée avec la carte des indices de confinement présentée à la section 3 (Conditions de confinement). Parmi les eaux de signatures géochimiques peu évoluée, indicatives des zones de recharge, le type Ca-HCO_3 est le plus répandu dans la zone d'étude et se retrouve principalement dans les zones d'aquifère. Ce type d'eau est issu de la dissolution de matériaux carbonatés lors de l'infiltration des précipitations et représente 71 % des échantillons. Les types d'eau Mg-HCO_3 et Ca-Cl sont aussi caractéristiques des zones de recharge et représentent 4% des échantillons. Parmi les signatures géochimiques indicatrices des zones d'aquifère semi-captif et captif ce retrouvent les types d'eau Na-HCO_3 et Na-SO_4 (20 % des échantillons). Ces derniers indiquent que l'eau a subi une évolution depuis la recharge par échange cationique $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+$ suite à l'interaction de l'eau avec la matrice aquifère. Les eaux de type Na-SO_4 ont été retrouvées dans la zone aval du bassin, dans des forages atteignant les roches du groupe Queenston qui sont riches en gypse (CaSO_4). L'eau présente dans ce secteur pourrait être le résultat d'un mélange entre des eaux salines (Na-Cl) et des eaux de type Ca-SO_4 . Finalement 5% des échantillons sont des eaux de type Na-Cl . Ce type d'eau est habituellement caractéristique d'une eau évoluée avec une influence saline provenant de l'eau interstitielle des argiles marines de la Mer de Champlain. Ce processus peut être évoqué pour la partie aval de la zone d'étude. Les échantillons de ce secteur présentent des ratios en mg/L de Br/Cl ($>0,0035$) et de Na/Cl (0,55) qui sont représentatifs des ratios de l'eau de mer. Toutefois les échantillons de type Na-Cl localisés dans les zones d'aquifère semi-captif ou libre présentent des ratios Na/Cl supérieurs à celui de l'halite (0,65) ce qui pourrait être expliqué par une contamination aux sels de déglacage appliqué sur le réseau routier.



©S. Gagné



MÉTADONNÉES
Section 5.6 du Rapport final
(Laroque et al., 2015)

Carte 21 Types d'eau de l'aquifère au roc

ZONE NICOLET/ BAS SAINT-FRANÇOIS
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION
Sources
Réseau hydrographique: BDTQ 20K
Réseau routier: BNDT 250K
Fond de carte: Ombre MERN 20K
Type eau confinement: UQAM
Réalisation:
Université du Québec à Montréal



Cette carte est représentative des conditions réelles à l'échelle 1:100 000 telles qu'elles se trouvent à l'origine. Elle ne constitue pas un document officiel. Les données sont susceptibles d'être mises à jour. Les utilisateurs de cette carte sont responsables de la vérification de la validité des données et de la pertinence de ces données pour leur utilisation. Les données et leur utilisation ne constituent pas une garantie de la part de l'Université du Québec à Montréal.

Source: Laroque, D., Gauthier, S., Barabaud, D., Roy, G., 2015. Les données géologiques de la zone Nicolet et de la partie basale de la zone Saint-François - Rapport final. Rapport présenté au MRC/CC.

5 RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE

Usage de la ressource

La **carte 22** illustre la source d’approvisionnement d’eau de municipalités de la zone d’étude. Dans la partie amont, la source principale est l’eau souterraine. Plusieurs municipalités de ce secteur ne possèdent pas de réseau d’eau potable, leurs populations s’approvisionnent alors à partir de puits individuels. Les municipalités les plus peuplées s’approvisionnent généralement à partir de l’eau de surface ou d’une combinaison surface/souterrain. Dans la partie aval, la présence d’eau saumâtre oblige les municipalités à s’approvisionner en eau de surface.

Au total, sur la zone d’étude, plus de 71 millions de mètres cubes d’eau sont consommés chaque année. De ce volume, 33 % provient de l’eau souterraine et 67 % provient de l’eau de surface (**Tableau 4** et **Carte 23**). En comparaison, à l’échelle du Québec, 20 % de la population s’alimente en eau souterraine (MDDELCC, 2015). Sur la zone d’étude, l’eau souterraine consommée correspond à un prélèvement de 5 mm/an, tandis que la consommation totale d’eau (souterraine et de surface) correspond à 15 mm/an.

La **carte 24** illustre la proportion d’utilisation de l’eau selon le type d’utilisation. Sur l’ensemble de la zone d’étude, la consommation d’eau par type d’utilisation se répartit de la manière suivante : 40 % pour l’utilisation résidentielle, 38 % pour les utilisations industrielle, commerciale et institutionnelle (ICI, incluant les pertes dans le réseau de distribution) et 22 % pour l’utilisation agricole (**Figure 15**).

L’utilisation de l’eau pour des fins agricoles sur la zone d’étude est majoritairement dédiée à la culture de la canneberge (54 %) et à l’élevage (34 %). L’utilisation de l’eau pour la culture de la canneberge provient de systèmes de bassins qui captent l’eau de ruissellement par un réseau de canaux généralement situé près des milieux humides. Les municipalités où la consommation d’eau pour une utilisation agricole est la plus importante sont Saint-Lucien (3 606 591 m³), Sainte-Séraphine (1 441 375 m³) et Saint-Cyrille-de-Wendover (1 356 437 m³). Les villes où l’utilisation d’eau à des fins résidentielles est la plus importante sont également les plus peuplées: Drummondville et Victoriaville.

Les plus importants volumes d’eau souterraine utilisés pour l’élevage sont pompés dans les municipalités de Saint-Fortunat (542 189 m³), Wickham (304 872 m³) et Saint-Pie-de-Guire (238 729 m³). L’eau utilisée pour l’élevage provient de puits privés, mais aussi de réseaux publics quand la ferme se trouve dans une municipalité munie d’un réseau d’aqueduc étendu.

Les volumes d’eau les plus importants prélevés pour des usages ICI sont dans les municipalités de Notre-Dame-du-Bon-Conseil (12 044 154 m³), Drummondville (4 705 625 m³), Victoriaville (2 730 330 m³), Kingsey Falls (2 439 029 m³) et Princeville (2 012 001 m³) où les usages industriels sont principalement retrouvés.

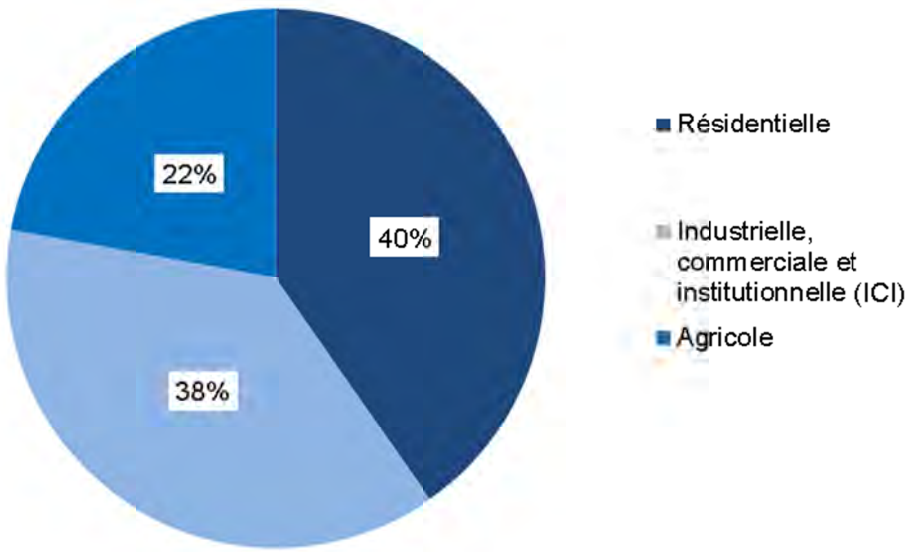


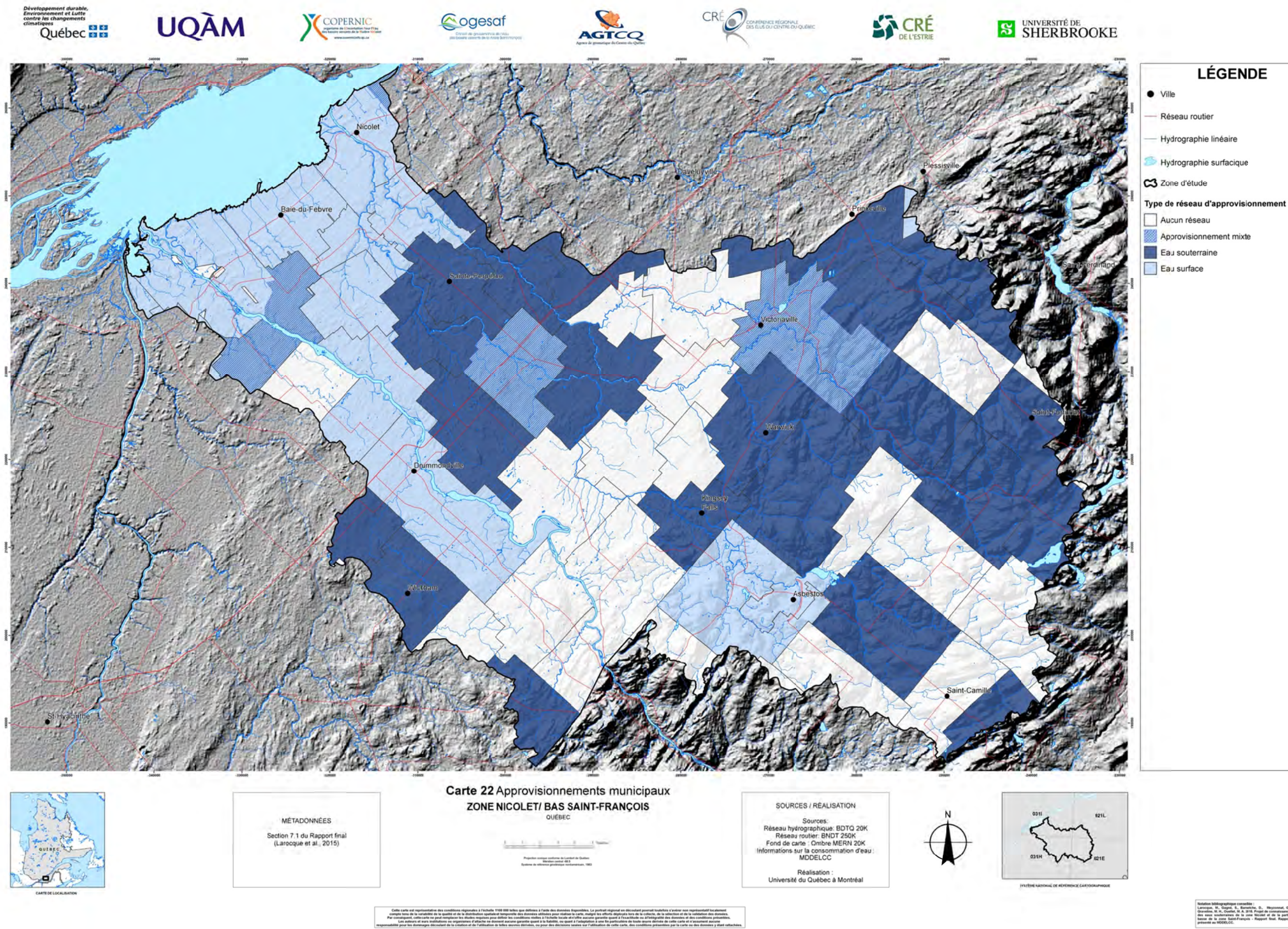
Figure 15 Pourcentage de l'utilisation de l'eau selon le type

Tableau 4 Utilisation de l'eau par MRC sur la zone d'étude

MRC	Utilisation de l'eau (m³/an)		
	Totale	Eau souterraine	Eau de surface
Acton	2 881	2 881	0
Arthabaska	21 576 823	11 608 823	9 968 000
Bécancour	19 936	19 936	0
Drummond	36 400 682	5 965 958	3 043 4724
Le Haut-Saint-François	71 852	68 036	3 817
Le Val-Saint-François	133 955	133 955	0
L'Érable	4 234 537	1 429 278	2 805 259
Les Appalaches	577 992	577 992	0
Les Sources	2 425 827	977 594	1 448 233
Nicolet-Yamaska	5 580 468	2 527 104	3 053 364
Pierre-De Saurel	45 344	45 344	0
Total	71 070 295	23 356 900	47 713 396



© Ville de Victoriaville





Prézonètre dans le secteur de Sainte-Brigitte-des-Saults © M. Ferlatte

Qualité de la ressource en eau souterraine

Méthode utilisée

La caractérisation physicochimique permet de comparer les éléments analysés aux normes existantes (cf. Règlement sur la qualité de l'eau potable, 2001). Le dépassement d'un objectif esthétique n'a pas un effet reconnu sur la santé, mais peut avoir un effet sur le goût et l'apparence de l'eau, ou encore sur la présence de dépôts dans les conduites.

Tableau 5 Sommaire des dépassements de norme*, **

Paramètres	Statistiques (mg/L)					Critères de potabilité (mg/L)	Fréquence	Proportion (%)
	Nb	Min	Médiane	Écart-type	Max			
Arsenic (As)	201	0	0	0,037	0,01	0,01	13	6,5
Bore (B)	201	0	0,025	3,4	0,3	5	0	0,0
Baryum (Ba)	201	0	0,081	90	6,4	1	16	8,0
Cadmium (Cd)	201	0	0	0,0014	0,0001	0,005	0	0,0
Chrome (Cr)	201	0	0	0,017	0,002	0,05	0	0,0
Fluor (F)	201	0	0,1	2	0,3	1,5	2	1,0
Nitrite/Nitrate (NO ₂ -NO ₃ , mg N/L)	201	0	0	12	1,6	10	1	0,5
Plomb (Pb)	201	0	0,00019	0,027	0,005	0,01	2	1,0
Antimoine (Sb)	201	0	0	0,0023	0,0002	0,006	0	0,0
Sélénium (Se)	201	0	0	0,0057	0,001	0,01	0	0,0
Uranium (U)	201	0	0	0,031	0,003	0,02	1	0,5

*Le tableau montre seulement les paramètres normés qui ont été analysés dans le cadre du projet.
**Les paramètres normés sont basés sur le Règlement sur la qualité de l'eau potable (2001).

Interprétation pour la zone d'étude

Trente-cinq dépassements de normes de potabilité ont été relevés sur les 201 puits échantillonnés (Tableau 5 et Carte 25). Parmi ces dépassements, 16 concernent le baryum, 13 l'arsenic, deux le fluor, deux le plomb, un le nitrate et un l'uranium. Les dépassements concernant l'uranium et la grande partie de ceux reliés au baryum, à l'arsenic et au fluor proviennent de puits qui captent l'aquifère de roc fracturé. L'occurrence du fluor et du baryum est observée sur la partie aval du bassin lorsque le degré de confinement de l'aquifère au roc devient important. Les plus fortes concentrations en fluor et en baryum seraient donc d'origine naturelle, selon la géologie les conditions de confinement. Les dépassements en arsenic se retrouvent dans la zone appalachienne et seraient d'origine naturelle et proviendraient de l'altération des minéraux contenant de l'arsenic. Bien qu'aucun dépassement de la norme pour les nitrates n'ait été mesuré, 15 % des puits échantillonnés avaient une concentration en nitrate supérieure à 1 mg/L. Ce seuil est considéré comme le signal anthropique des nitrates dans l'eau souterraine.

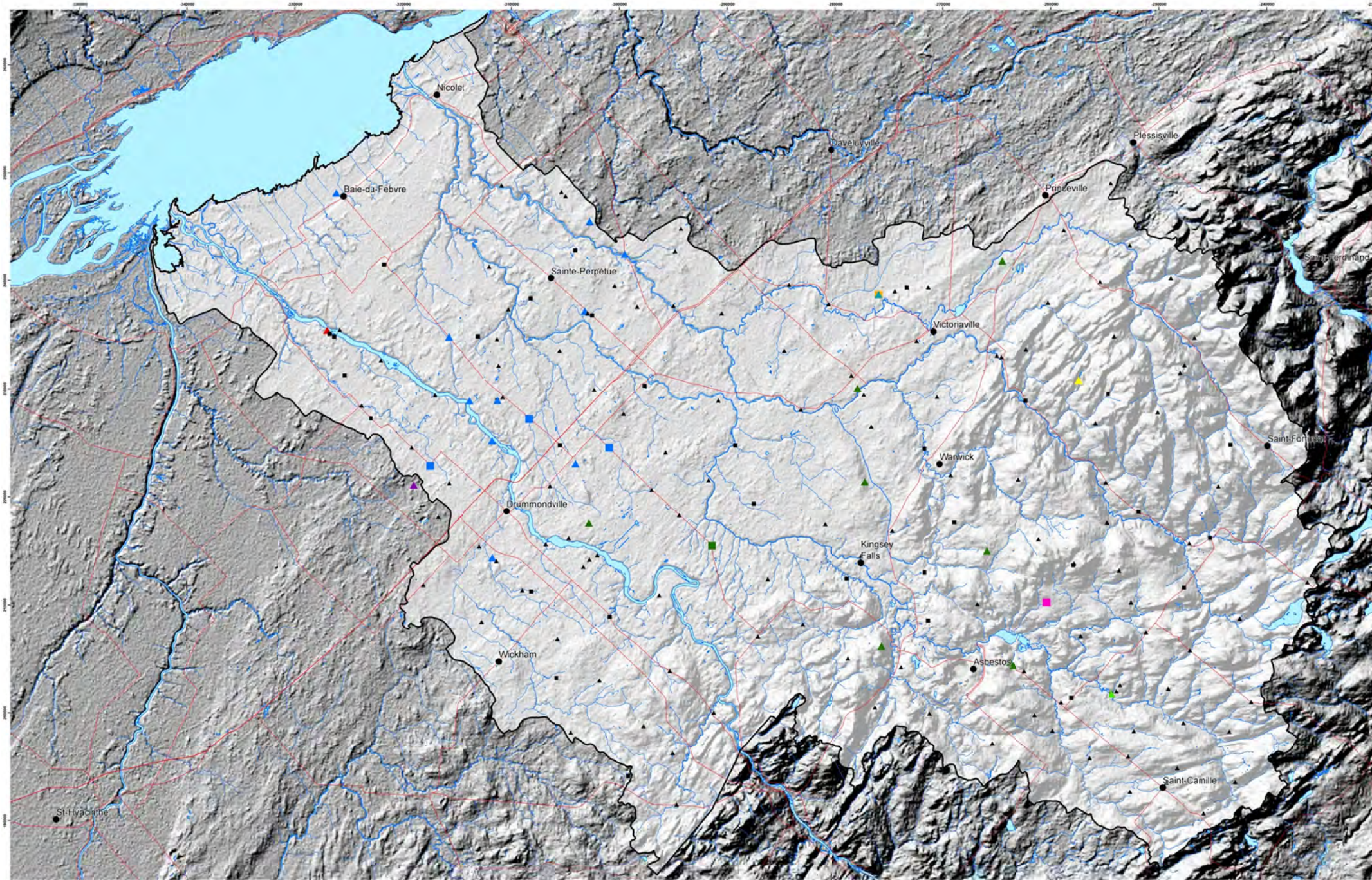
Les dépassements d'objectifs esthétiques les plus souvent observés concernent le manganèse (94), la dureté totale (61), le fer (49), les matières dissoutes totales (46) et le pH (41) (Tableau 6 et Carte 26). Dans le cas du manganèse, un lien entre des concentrations élevées de manganèse et une diminution du quotient intellectuel chez les enfants en bas âge a récemment été découvert (Bouchard et al. 2011). Il est donc probable que ce paramètre devienne bientôt normé. L'occurrence du manganèse dans l'eau souterraine est vraisemblablement d'origine naturelle. À titre d'exemple, le rapport de compilation de la géologie du roc de Globensky (1987) mentionne que l'intervalle supérieur de la Formation de Nicolet (Groupe de Lorraine) est riche en manganèse. Cependant, les concentrations en manganèse relevées dans l'eau souterraine pour ce projet sont réparties sur l'ensemble de la zone d'étude et ne permettent pas d'associer l'occurrence particulière du manganèse à un certain type de roc ou selon certaines conditions de confinement de l'eau souterraine. Les autres dépassements les plus souvent observés sont le sodium (14), l'aluminium (7), les sulfures (7), le chlore (6), et les sulfates (1). Les dépassements en sodium se retrouvent plus vers l'aval du bassin où l'aquifère est condition captive, mais aucune tendance amont-aval n'est observable pour les autres dépassements du critère esthétique.

Les pesticides, les produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP), de même que la caféine sont présents dans l'eau souterraine de la zone d'étude, mais leurs concentrations sont près du seuil de détection et aucun dépassement de norme n'a été observé. Il n'y a donc pas de problématique reliée à ces composés. Cependant, leur détection dans l'eau souterraine indique que certains produits d'origine anthropique migrent rapidement des réseaux d'égouts municipaux et des fausses septiques/champs d'épuration vers l'eau souterraine. Leur détection confirme également la présence d'eau souterraine ayant séjourné relativement brièvement dans l'aquifère avant d'être pompée, ce qui est indicateur de problématiques possibles de contamination à court et moyen terme.

Tableau 6 Sommaire des dépassements esthétiques*, **

Paramètres	Nb	Statistiques (mg/L)				Objectifs esthétiques	Fréquence	Proportion (%)
		Min	Médiane	Écart-type	Max			
Aluminium (Al)	201	0	0	0,70	6,4	0,1	7	3%
Chlore (Cl)	201	0	10	794,1	11000	250	6	3%
Cuivre (Cu)	201	0	0	0,04	0,5	1	0	0%
Dureté totale (mg CaCO ₃ /l)	193	0	143,1	186,0	1490	200	61	32%
Fer (Fe)	201	0	0	3,5	31	0,3	49	24%
Matière dissoute totale (MDT)	193	33,3	352,7	1394,3	18178	500	46	24%
Manganèse (Mn)	201	0	0	0,631	5,9	0,05	94	47%
Sodium (Na)	201	0,4	16	468,3	6400	200	14	7%
pH	200	5,2	7,3	0,862	13	6.5 - 8.5	41	21%
Sulfate (SO ₄)	201	0	15	254,6	3600	500	1	0%
Sulfure (S, mg H ₂ S/l)	201	0	0	0,401	4,3	0,05	7	3%
T (°C)	201	7,2	10,2	1,8	21	15	6	3%
Zinc (Zn)	201	0	0	0,06	0,7	5	0	0%

*Le tableau montre seulement les paramètres normés qui ont été analysés dans le cadre du projet.
**Les paramètres normés sont basés sur le Règlement sur la qualité de l'eau potable (2001).



MÉTACONNÉES
Section 7.2 du Rapport final
(Larocque et al., 2015)

Carte 25 Qualité de l'eau souterraine - Critères pour l'eau potable

ZONE NICOLET/ BAS SAINT-FRANÇOIS
QUÉBEC



SOURCES / RÉALISATION

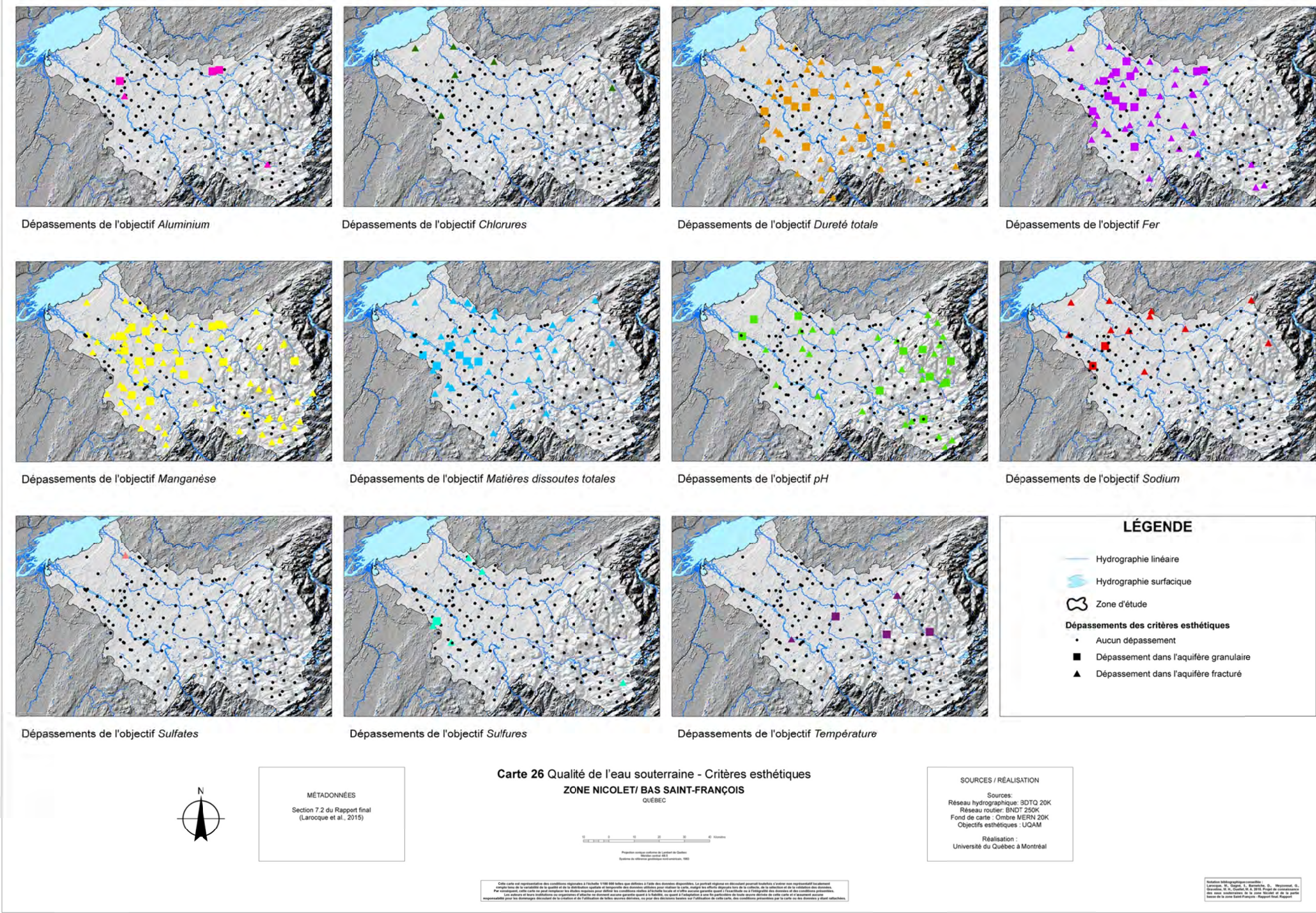
Sources:
Réseau hydrographique: BDTQ 20K
Réseau routier: BNDT 250K
Fond de carte: Ombre MERN 20K
Critères de qualité de l'eau potable: UQAM

Réalisation:
Université du Québec: à Montréal



Cette carte est représentative des conditions réelles à l'échelle 1:100 000 telles qu'elles s'y trouvent. Le portail régional en développement pourrait toutefois s'avérer non représentatif localement. Par conséquent, cette carte ne peut remplacer les données requises pour définir les conditions réelles à l'échelle locale et n'est pas destinée à être utilisée pour des décisions de planification. Toute utilisation de cette carte pour des fins autres que celles prévues par le projet de loi 100, 1998, est à l'usage de l'utilisateur. L'Agence de la santé publique de la France ne s'engage pas à garantir l'exactitude des données et ne s'engage pas à garantir l'exactitude des données. L'Agence de la santé publique de la France ne s'engage pas à garantir l'exactitude des données et ne s'engage pas à garantir l'exactitude des données.

Sources bibliographiques consultées:
Larocque, G., Gagné, S., Bouchard, D., Bouchard, G.,
Gauthier, M. H., Gauthier, M. A. 2015. Projet de connaissance
des eaux souterraines de la zone Nicolet et de la partie
bas de la zone Saint-François - Rapport final. Rapport





Ferme dans le secteur de Sainte-Brigitte-des-Saults © M. Ferlatte

Densité des activités anthropiques

Méthode utilisée

L'estimation de la densité des activités anthropiques sur la zone d'étude vise à évaluer l'impact potentiel des activités en termes de risque appréhendé sur la qualité de la ressource en eau souterraine. Cet indice vise à fournir les tendances régionales en termes de pressions des activités anthropiques sur l'eau souterraine. Les activités anthropiques présentant des sources potentielles de contamination ponctuelle ou diffuse ont été séparées en deux indices distincts.

Le premier indice vise à évaluer l'impact potentiel des activités anthropiques ponctuelles provenant des centres urbains et des activités commerciales et industrielles. Une pondération des risques associés à chaque activité anthropique a été calculée en utilisant quatre critères : la toxicité des contaminants potentiels, leur quantité, la zone d'impact possible et la fréquence des rejets. L'indice considère ainsi de nombreuses activités (agroalimentaire, chimique, bois et pâtes papier, métallurgie, etc.) et polluants potentiels associés. Dans cet indice, les sources de contaminations diffuses ont été exclues. Il est important de mentionner que l'évaluation globale de l'impact ou du risque potentiel lié à chaque activité demeure qualitative. Cette évaluation vise à attribuer à chaque activité un poids relatif afin de permettre la préparation d'un portrait régional de la pression des activités anthropiques, en termes de risque appréhendé, sur la qualité des ressources en eau souterraine. Cet outil est destiné à une analyse régionale et ne doit pas remplacer la nécessité d'évaluer l'impact ponctuel de chaque activité.

Le deuxième indice calculé estime la densité des sources de contamination potentielles diffuses, qui sont typiquement d'origine agricole et qui concernent l'utilisation de fertilisants et de pesticides. Cet indice considère ainsi le nombre de fermes/km². Il est important de mentionner que le niveau de risque calculé ne prend pas en compte la vulnérabilité de l'aquifère au roc. L'impact des activités agricoles est représenté séparément sous forme de densité spatiale des fermes, mais sans risque associé.

Interprétation pour la zone d'étude

L'indice de densité d'activités anthropiques varie de 0 à 93,4 activités/km². Parmi les zones où l'indice de densité d'activités anthropiques est le plus élevé se trouvent les villes de Drummondville, Victoriaville, Asbestos, Danville, Nicolet et Princeville (**Carte 27**). Puisque le risque évalué est associé à des activités industrielles ou commerciales, il est nul en dehors des centres urbains ou industriels.

La densité des activités agricoles varie de 0 à 13 fermes/km². La plus grande densité d'activités agricoles se retrouve dans la portion aval de la zone d'étude, du fleuve Saint-Laurent jusqu'à l'axe formé par les villes de Drummondville et de Sainte-Perpétue (**Carte 28**). Il est intéressant de souligner que ces secteurs ont un indice DRASTIC de l'aquifère au roc parmi les plus bas de la zone d'étude. Le secteur central et le secteur des Appalaches en amont de la zone d'étude présentent une densité d'activités agricoles plus faible, mais la densité agricole demeure élevée dans les vallées des rivières Nicolet et Bulstrode. Il est important de rappeler que ces zones ont été identifiées comme ayant une vulnérabilité élevée ou très élevée selon l'indice DRASTIC. C'est aussi dans le secteur amont de la zone d'étude où des concentrations en nitrates les plus élevées ont été observées.



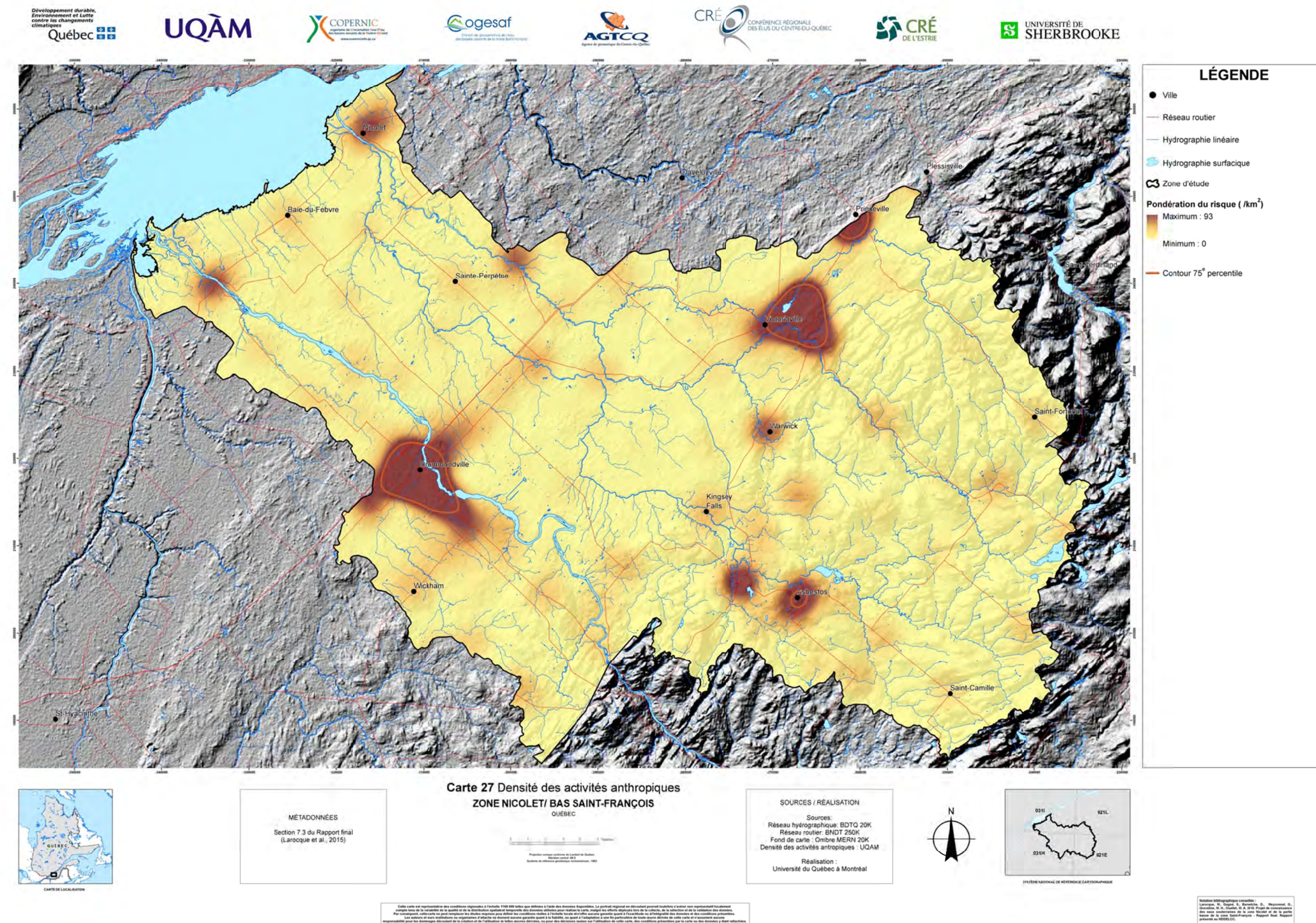
© Ville de Victoriaville



© M. Ferlatte



© Ville de Victoriaville



6 RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

Les nouvelles données acquises dans ce projet apportent des connaissances très importantes pour la région et directement utiles pour la gestion de la ressource en eau. Bien que le projet ait été réalisé à l'échelle régionale, les résultats du présent projet constituent la base de la connaissance hydrogéologique de la région. Ils permettront de jeter les bases de l'intégration de l'eau souterraine dans la gestion du territoire à l'échelle du bassin versant. Par ailleurs, la finalisation du PACES Nicolet-Bas Saint-François permet de compléter la couverture hydrogéologique régionale dans le Centre-du-Québec et aussi du secteur des Appalaches. Cette couverture complète de l'information hydrogéologique permettra aux acteurs régionaux d'avoir à leur disposition des données uniformes et homogènes pour leur territoire.

RECOMMANDATIONS

Quantités d'eau disponible

Il est recommandé de réaliser des études complémentaires à l'échelle locale avant tout nouveau projet d'exploitation de l'eau souterraine. L'aquifère au roc fracturé est dans l'ensemble peu productif et pourrait localement ne pas permettre des pompages importants.

Il est recommandé de poursuivre à l'échelle locale la caractérisation des aquifères de dépôts meubles qui ont été identifiés dans le projet de manière générale seulement. Par exemple, la continuité spatiale et en profondeur de l'esker Asbestos-Tingwick n'est pas bien détaillée, et sa dynamique hydrogéologique est peu définie. L'aquifère granulaire du secteur Saint-Perpétue/Sainte-Brigitte-des-Saults est lui aussi peu détaillé, malgré son potentiel aquifère important.

Il est recommandé de poursuivre le suivi des niveaux piézométriques dans tous les nouveaux forages au roc. Il est également recommandé d'installer des piézomètres dans les plus importants aquifères granulaires. Ces suivis sont absolument nécessaires pour identifier des changements à long terme des volumes d'eau disponibles. Il est également recommandé de maintenir et si possible étendre le suivi à long terme des débits en rivières.

Il est recommandé de planifier le développement urbain afin de limiter l'imperméabilisation des surfaces et le drainage dans le but de favoriser la recharge. Il est recommandé de limiter le plus possible les perturbations dans l'environnement immédiat des tourbières et d'augmenter les zones de conservation des milieux humides sur la zone d'étude, dans le but de maintenir leur rôle de tampon hydrologique.

Qualité de l'eau

Il est recommandé de contrôler les activités à fort potentiel de pollution dans toutes les zones de vulnérabilité élevée ayant été identifiées dans ce projet. Celles-ci correspondent souvent à des zones de recharge de l'aquifère au roc. Il est recommandé de réaliser un suivi à long terme des forages où des dépassements de normes ont été observés, de même qu'un suivi à long terme des secteurs où les concentrations en nitrates les plus élevées ont été mesurées et où des pesticides ont été détectés. Un suivi annuel de la qualité bactériologique est recommandé dans les secteurs où des dépassements ont été observés.

Une étude sur le transfert des contaminants (nitrates, pesticides, produits de soins personnels) à l'échelle de toute la zone d'étude serait utile pour comprendre leur origine, leur migration et leur atténuation naturelle.



CONCLUSIONS THÉMATIQUES

Nature des formations aquifères

L'aquifère au roc dans de la zone d'étude est peu transmissif dans l'ensemble, même si certains secteurs ont été identifiés comme plus productifs, notamment le secteur centre sud-ouest. Les formations superficielles granulaires d'étendue limitée, mais peuvent constituer des aquifères locaux pour de petites municipalités. L'esker d'Asbestos-Tingwick est une formation granulaire aquifère importante de la région.

Origine et directions d'écoulement de l'eau souterraine

L'eau souterraine s'écoule généralement du sud vers le nord, à partir du secteur des Appalaches vers le fleuve Saint-Laurent. Les écoulements souterrains suivent la topographie et sont fortement influencés par les cours d'eau, notamment dans la partie amont. Une partie importante de l'écoulement souterrain est intercepté par les nombreuses rivières présentes dans la région. L'aquifère apporte une contribution importante aux débits en rivière toute l'année, et cette contribution devient cruciale en période estivale.

Qualité de l'eau souterraine

L'eau souterraine de la zone d'étude est de bonne qualité de manière générale et un très petit nombre de dépassements des normes pour la qualité de l'eau potable ou pour les critères esthétiques ont été identifiés. Les concentrations en nitrates observées ne dépassent pas la norme pour l'eau potable (un seul dépassement), mais dépassent parfois significativement le seuil d'impact anthropique. Ces concentrations sont préoccupantes dans le secteur amont de la zone d'étude. Des dépassements de fluor et de baryum ont été observés dans la partie aval. Ces dépassements sont répartis selon un axe sud-ouest/nord-est et ne sont pas concentrés dans un secteur bien défini. Les problématiques identifiées dans la région concernent les concentrations en manganèse qui dépassent le critère esthétique et pourraient être une préoccupation pour la santé des enfants (Bouchard et al., 2011).

Bilan hydrique de l'aquifère

Le bilan hydrique de l'aquifère montre qu'une très grande partie de la recharge atteint l'eau souterraine pour circuler rapidement dans l'aquifère et faire résurgence dans les nombreux cours d'eau. Une très faible proportion de l'écoulement régional atteint le fleuve Saint-Laurent en aval de la zone d'étude. Ceci traduit l'aspect dynamique des couches superficielles de l'aquifère et reflète le fait que les formations géologiques en profondeur sont relativement peu perméables.

Les volumes d'eau souterraine utilisés par les particuliers, les villes, l'agriculture et l'industrie sont faibles en comparaison avec la recharge. Les puits de particuliers peuvent s'alimenter sans problème dans la portion dynamique de l'aquifère, mais des pompages à plus grand débit peuvent être difficiles à implanter dans l'aquifère du roc.

Vulnérabilité de l'aquifère

Les zones où l'aquifère du roc fracturé est le plus vulnérable sont localisées dans la portion amont, là où la recharge est élevée et où les dépôts meubles sont minces et en contact avec le roc sans unité imperméable. Les dépassements du seuil anthropique des nitrates dans ce secteur reflètent bien cette situation. L'aquifère fracturé des parties centre et aval montrent une forte variabilité qui diminue vers l'aval où la vulnérabilité est faible.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le projet PACES-Nicolet-Bas Saint-François apporte des connaissances très importantes pour la région au sujet des eaux souterraines. Les données acquises, les cartes produites et les analyses qui en découlent seront directement utiles pour la gestion de la ressource en eau à l'échelle de la zone de gestion intégrée de l'eau Nicolet et de la partie basse de la zone de gestion intégrée de l'eau Saint-François. La disponibilité d'une aussi grande quantité de nouvelles données soulève maintenant le défi de la poursuite des suivis initiés dans le projet, de la mise à jour des informations au fur et à mesure qu'elles deviendront disponibles et de la mise à disposition de toutes les données à la région. Un autre défi majeur consistera à assurer le transfert des connaissances acquises et le maintien de la concertation entre la région et les chercheurs universitaires. Une approche proactive pour relever ces défis permettra de maximiser les retombées des projets PACES et d'assurer la pleine utilisation des données disponibles dans les plans de gestion du territoire et des ressources en eau existants.



Puits d'observation à Saint-Albert ©S. Gagné

Tableau 7 Détails des puits d'observation piézométrique

Municipalité	Nom du puits	Contexte	Profondeur totale (m)	Épaisseur des dépôts meubles	Formation géologique
Baie-du-Febvre	NSF-R1	Captif	84,4	47,2	Calcaire/shale noir (Fr. Pontgravé)
Saint-Albert	NSF-R2	Semi-captif	60,0	15,2	Ardoise calcaireuse (Fr. Bulstrode)
Saint-Camille	NSF-R3	Libre	51,8	1,5	Schiste, grès, tuf (Fr. St-Victor)
Drummondville	NSF-R4	Semi-captif	58,0	10,0	Ardoise calcaireuse (Fr. Bulstrode)
Danville	NSF-R5	Libre	54,0	0,3	Schiste à chlorite (Gr. Sweetsburg)
Saint-Rémi-de-Thingwick	NSF-R6	Libre	54,0	5,8	Schiste (Gr. Caldwell)
Saint-Hélène-de-Chester	NSF-R7	Libre	55,0	0,9	Schiste (Sutton-Benett)
Sainte-Monique	NSF-R8	Captif	91,0	41,8	Shale rouge, grès vert (Fr. Bécancour)
Victoriaville	NSF-R9	Libre	52,0	1,0	Ardoise calcaireuse (Fr. Bulstrode)
Drummondville	NSF-R10	Libre	58,0	13,1	Ardoise, calcaire (Fr. Bourret)
Asbestos	NSF-R11	Captif	79,2	56,4	Schiste noir et vert (Gr. Rosaire)

GLOSSAIRE

Aquiclude : Un aquiclude désigne une formation imperméable à l'eau (exemple une strate d'argile). Comparé à un aquitard, un aquiclude n'est pas transmissif.

Aquifère : formation géologique saturée en eau et pouvant permettre le captage de l'eau; ce sont généralement des dépôts meubles granulaires ou du roc suffisamment poreux ou faillé pour permettre le pompage ou la circulation de l'eau dans ces matrices.

Aquitard : formation géologique saturée en eau, mais de nature relativement imperméable ne permettant pas le captage de l'eau et venant induire des conditions de confinement pour les ou les aquifères en contact avec ces derniers.

Archéen : ère géologique qui s'étend de l'Éoarchéen (de -3800 à -3600 Ma) : au Néoarchéen (de -2800 à -2500 Ma).

Ardoise : roche métamorphique qui se forme dans de fortes conditions de pression et de température. Elle appartient à la famille des schistes dont elle se distingue par la qualité de son grain, très fin, et sa fissilité.

Bassin versant : aussi appelé bassin récepteur ou bassin hydrologique, il comprend toutes les terres où s'écoulent un cours d'eau et ses affluents. Il s'agit d'un réseau dynamique et complexe de ressources naturelles incluant le sol, l'eau, les plantes et les animaux.

Calcaire : roche sédimentaire, composée majoritairement de carbonate de calcium (CaCO_3), mais aussi de carbonate de magnésium MgCO_3 . Les calcaires se forment généralement par accumulation, au fond des mers, à partir des coquillages et squelettes des microalgues et des animaux marins.

Cambrien : période géologique qui s'étend de -541 à -485 Ma.

Conductivité hydraulique : coefficient dépendant des propriétés du milieu poreux et de celles du fluide concerné, qui exprime l'aisance qu'a ce fluide à se déplacer à travers la tortuosité des vides ou encore l'aptitude du milieu poreux à laisser circuler ce fluide à travers lui. Elle s'exprime en m/s.

Conglomérat : roche détritique issue de la dégradation mécanique d'autres roches, composée de morceaux discernables liés entre eux par un ciment naturel. Les conglomérats sont le plus souvent de nature sédimentaire, mais ils peuvent également être volcaniques.

Cycle de l'eau : modèle représentant le parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou de vapeur d'eau sur Terre : les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes d'eau souterraine et les glaciers. Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges.

Dépôts granulaires : sédiments non consolidés constitués de matériels à grain grossier comme les sables et les graviers.

Dépôts meubles : dépôts non consolidés (graviers, sables, argiles, silts) provenant de l'altération du substrat rocheux.

Dépôts quaternaires : dépôt meubles déposés pendant la période quaternaire.

Dévonien : période géologique qui s'étend de -419 à -359 Ma.

Dolomie : roche sédimentaire carbonatée composée d'au moins 50% de dolomite, elle-même formée carbonate de calcium et de magnésium ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Esker : formation glaciaire se présentant sous la forme d'une butte allongée parfois sur des centaines de mètres de longueur. Les eskers se forment dans des tunnels sous les glaciers. Lorsque le glacier se retire d'une vallée, des matériaux granulaires se déposent dans les tunnels situés à la base du glacier qui sont empruntés par des écoulements sous-glaciaires. Une fois le glacier fondu, le « moulage » obtenu des tunnels reste en place en formant des eskers.

Faille de chevauchement (roc) : faille séparant deux compartiments rocheux formant un plan incliné suite au soulèvement du compartiment supérieur par rapport au compartiment inférieur.

Fluvioglaciaire (sédiment) : sédiments continentaux provenant des matériaux arrachés par un glacier et transportés par l'eau de fonte de ce dernier.

Glaciolacustre (sédiment): Sédiment déposé dans des lacs dont la formation et l'évolution est influencée par un dynamique glaciaire (fonte de glacier, blocage du réseau de drainage normal).

Granulométrie (sols) : distribution en taille des grains constituant un sol, des sédiments les plus fins (argiles) au plus grossiers (gravier)

Grès : roche sédimentaire détritique issue de l'aggrégation et de la cimentation de grains de sable.

Hydrosphère : terme désignant l'ensemble des zones d'une planète où l'eau est présente. Elle concerne aussi bien l'eau sous forme liquide (océans, fleuves, nappes phréatiques), que sous forme solide (glaciers, banquise) ou sous forme gazeuse (vapeur d'eau de l'atmosphère).

Hydrostratigraphie : décrit la succession d'unités géologiques (dépôts meubles, roc) en focalisant sur les propriétés hydrauliques de ces derniers en termes de perméabilité et de conductivité hydraulique.

Lac proglaciaire : étendue d'eau résultant de la fonte d'un glacier. Les lacs proglaciaires se forment en avant des glaciers, généralement à la suite du recul de ces derniers.

Marais : milieu humide dominé par une végétation herbacée et qui est souvent rattaché à des zones fluviales, riveraines et lacustres.

Marécage : milieu humide caractérisé par la présence d'arbres poussant sur un sol organique vaseux.

Métamorphique (roche) : roche formée par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou de roches magmatiques sous l'action de la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches.

Mudstone : roche sédimentaire composée à l'origine d'argile ou de boue.

Nappe d'eau : partie saturée en eau de la matrice hydrogéologique, où les pores et/ou les failles du sol ou du roc sont entièrement remplis d'eau.

RÉFÉRENCES

Anctil, F. Rousselle, J. et N. Villeneuve. 2005. Hydrologie : cheminement de l'eau. Presses inter Polytechnique, Montréal, 317 p.

Beaulieu, J., S. Murray et C. Villeneuve. 2012. Cartographie détaillée des milieux humides du territoire du Centre-du-Québec - rapport synthèse. Canards Illimités – bureau du Québec et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs. Québec, 44 p.

Bouchard M.F., S. Sauvé, B. Barbeau, M. Legrand, M. E. Brodeur, T. Bouffard, E. Limoges, D. C. Bellinger et D. Mergler. 2011 Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. Environmental Health Perspectives, 119(1):138-43.

Canards illimités Canada, MDDELCC, 2012. Cartographie détaillée des milieux humides des basses terres du Saint-Laurent et de la plaine du lac Saint-Jean. Données numériques.

Financière Agricole du Québec (FADQ). 2001. *Base de données des cultures assurées (BDCA)*. En ligne. <http://www.fadq.qc.ca/geomatique/professionnels_en_geomatique/base_de_donnees_de_cultures_assurees.html>

Globensky, Y., 1987. Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent. Rapport MM-85-02, 70 p.

Gouvernement du Québec. 2001. *Règlement sur la qualité de l'eau potable*. Q-2, r. 40.

Gouvernement du Québec. 2014. Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection. Q2, r 35.

Groupe de travail national sur les terres humides (GTNTH). 1997. Le système de classification des terres humides du Canada (SCTHC), 2e édition. Édité par B.G. Warner et C.D.A. Rubec. Centre de recherche sur les terres humides, Université de Waterloo. Waterloo. Ontario. 68 p.

Lamothe, M. et G. Saint-Jacques. 2014. Géologie du Quaternaire des bassins versant des rivières Nicolet et Saint-François, Québec. Rapport final. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune. 34 p.

Larocque, M., Gagné, S., Barnette, D., Meyzonnat, G, Graveline, M. H. et M. A. Ouellet. 2015. Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François - Rapport final. Rapport déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 254 p

MDDELCC. 2014. Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines. En ligne. <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisition-connaissance.htm>>

MDDELCC. 2015. Réseau québécois de suivis des eaux souterraines. En ligne : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm>

Slivitsky, A. et Saint-Julien, P., 1987. Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce. Rapport MM-85-04, 51 p.